

Análisis de la Capacidad de Producción de Minerales Orgánicos para Alimentación Animal

Christian Camilo Ruiz Álzate

Trabajo de grado presentado para optar el título de Tecnólogo en Logística Industrial

Asesor Gabriel Jaime Rivera León

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Básicas

Tecnología en Ingeniería

Medellín

2020

## Contenido

Resumen .....	7
Summary .....	8
1. Introducción .....	9
1.1 Definición del Problema .....	9
2. Justificación .....	10
3. Objetivos .....	12
3.1 Objetivo general .....	12
3.2 Objetivos específicos .....	12
4. Marco Teórico .....	13
4.1 Proceso de producción de aditivos químicos para alimentación animal .....	13
4.1.1 ¿Que es un aditivo y como se regula? .....	14
4.1.2 ¿A qué se refieren cuando hablan de minerales orgánicos? .....	15
4.2 Control estadístico de la calidad .....	18
4.2.1 Conceptos .....	19
4.2.3 Medidas de tendencia central .....	20
4.2.4 Medidas de dispersión o variabilidad .....	21
4.2.5 Histograma y tabla de frecuencias .....	23
4.2.6 Medidas de forma .....	24
4.2.7 Cuantiles (percentiles) .....	26
4.2.9 Diagrama de Pareto .....	32
4.3 Índices de capacidad de los procesos .....	36
4.3.1 Índices de capacidad para procesos con doble especificación .....	36
4.3.2 Capacidad de largo plazo e índices $C_p$ y $C_{pk}$ .....	36
4.3.3 Métricas Seis Sigma .....	42
4.4 La metodología de Taguchi en el control estadístico de la calidad .....	44
4.4.1 Función pérdida de calidad .....	46
5. Diagnóstico de la Situación Actual de la Empresa .....	47
5.1 Generalidades de la Empresa .....	47
5.2 Estado Actual de los Procesos del Área de Producción .....	50

5.2.1 S-IDEO .....	50
5.2.2 Manufactura .....	50
5.2.3 Equipo de Control de Calidad .....	51
5.2.4 Proceso Calidad.....	52
6. Implementación de la Herramienta para el Análisis de la Capacidad de los Proceso .....	54
6.1 Porqué Queremos Mejorar.....	54
6.2 Plantilla de identificación de proyectos.....	55
6.3 Justificación de la herramienta en 5W + 1 H .....	58
7. Análisis de Resultados.....	65
7.1 Herramienta de análisis de información Zero Análisis .....	65
7.2 Resultados de análisis de data .....	68
8. Acciones de Mejora.....	74
8.1 Caso Manganeso Orgánico fuera de rango.....	74
8.2 Caso Selenio Orgánico fuera de rango.....	80
8.3 Caso 23% Prokel Zinc .....	88
9. Conclusiones y Recomendaciones .....	90
10. Referencias.....	93

### Lista de tablas

Tabla 1. Plantilla identificación de proyectos .....	56
Tabla 2. Rangos tasa de conformidad .....	59
Tabla 3. Tasa de conformidad según los 11 minerales orgánicos evaluados .....	60
Tabla 4. Tasa de conformidad según las 8 bases evaluadas.....	61
Tabla 5. Tasa de conformidad según los 13 Prokeles evaluados .....	62
Tabla 6. Porcentaje de disminución en los análisis aplicando la herramienta .....	63
Tabla 7. Porcentaje de reducción en envíos .....	72
Tabla 8. Porcentaje de reducción en el valor de los análisis comparando el año 2019 vs 2020 por familia .....	73
Tabla 9. Descripción cálculo realizado del sulfato con 30% de contenido.....	76
Tabla 10. Descripción cálculo realizado del sulfato con 33% de contenido .....	76
Tabla 11. Cálculo del minino necesario del sulfato con 32,61% de contenido.....	77
Tabla 12. Cálculo del sulfato según medida 2019-2020.....	77
Tabla 13. Cálculo del máximo de sulfato con 32,72% de contenido .....	78
Tabla 14. Cálculo del mínimo de sulfato con 32,72% de contenido.....	78
Tabla 15. Calculo de un producto base LIC que genera un producto con 5% de contenido orgánico.....	83
Tabla 16. Calculo de un producto base LSC que genera un producto con 5,34% de contenido orgánico..	84
Tabla 17. Calculo de un producto base LSC con un producto intermedio con 5,10% y con el secado tiene 3.47% de contenido orgánico.....	85
Tabla 18. Calculo de un producto base LIC con un producto intermedio con 4,68% y con el secado tiene 3.19% de contenido orgánico.....	86
Tabla 19. Calculo de un producto base Cpk. superior a 2,0 con un producto intermedio con 4,73% y con el secado tiene 3.23% de contenido orgánico .....	87

## Lista de figuras

Figura 1. Secuencia de fabricación Orgánico. Elaboración propia .....	11
Figura 2. Graficas de control de procesos, de (Conde, 2019). .....	20
Figura 3. Cuantiles (Percentiles), de (Martines & Benlloc, 2011).....	26
Figura 4. Diagrama De Ishikawa, tomado de (Rosemary Martins;Jeison Arenhrt, 2018) .....	30
Figura 5. Metodologia Implementación Six Sigma, de (Jimenes & Amaya, 2014). .....	31
Figura 6. Índices de Capacidad, de (Lopez, 2019).....	38
Figura 7. Calculo Índice Cp., de (Lopez, 2019).....	39
Figura 8. Ilustración del índice Cp. (López, 2019) .....	39
Figura 9. Clasificación del índice Cp., de (Lopez, 2019) .....	40
Figura 10. Formula Indice Cpk., de (Lopez, 2019).....	41
Figura 11. Criterio de calidad según Taguchi, de (La metodologia de Taguchi en el control estadistico de la calidad, 2015).....	46
Figura 12. Organigrama de la compañía de ADIQUIM S.A.S .....	49
Figura 13. Célula de Gestión, de ADIQUIM S.A.S.....	50
Figura 14. Célula de Manufactura, de ADIQUIM S.A.S.....	51
Figura 15. Equipo de control de calidad, de ADIQUIM S.A.S. ....	52
Figura 16. Flujograma aprobación orgánicos, de ADIQUIM S.A.S.....	53
Figura 17. Porqué de la herramienta, elaboración propia .....	55
Figura 18. 5W+1 H Herramienta. Imagen Propia.....	58
Figura 19. Índice Cpk -Grafica Arima –Limites, elaboración propia .....	65
Figura 20. Grafica de densidad, elaboración propia .....	66
Figura 21. Capacidad del proceso (UCL/LCL) -Centro (Media de los datos) -Desviación Estándar - Numero de datos por fuera de los límites, elaboración propia.....	66
Figura 22. Dashboard herramienta Zero Análisis, elaboración propia .....	67
Figura 23. Selección rangos y fechas, elaboración propia .....	67

Figura 24. Tablero de Resultados que se generan con la herramienta Zero Análisis, elaboración propia.	68
Figura 25. Gráficas Manganese orgánico 2.000, elaboración propia .....	79
Figura 26. Gráficas Selenio Orgánico 2.000, elaboración propia .....	81
Figura 27. Gráficas del análisis de un producto base Cpk. superior a 2,0 con un producto intermedio con 4,73% y con el secado tiene 3.23% de contenido orgánico, elaboración propia .....	88
Figura 28. Gráficas creadas por la herramienta antes de generar los cambios propuestos, elaboración propia .....	89
Figura 29. Gráficas creadas por la herramienta con los cambios propuestos, elaboración propia.....	90

### Lista de gráficas

Gráfica 1. Rango de cumplimiento en los minerales organicos analizados, elaboración propia .....	60
Gráfica 2. Rango de cumplimiento en las bases analizadas, elaboración propia .....	61
Gráfica 3. Rango de cumplimiento en los Prokeles analizados, elaboración propia .....	62
Gráfica 4. Comparación número de análisis según contenga o no regla de dinamización (RD) dada por la herramienta, elaboración propia.....	63
Gráfica 5. Comparación costos de los análisis por grupo según las reglas de dinamización (RD) dadas en la herramienta, elaboración propia.....	64
Gráfica 6. Comparación costos generales de los análisis según las reglas de dinamización (RD) dadas en la herramienta, elaboración propia.....	64
Gráfica 7. Comparativa lotes fabricados 2019 vs 2020, elaboración propia.....	69
Gráfica 8. Comparativa envió análisis 2019 vs 2020, elaboración propia.....	69
Gráfica 9. Comparativa valor análisis 2019 vs 2020, elaboración propia.....	70
Gráfica 10. Varios comparativos 2019 vs 2020 Imagen propia.....	71
Gráfica 11. Comparativo reducción en el número de análisis por familia 2019 vs 2020, elaboración propia .....	72
Gráfica 12. Comparativo valor análisis por familia según 2019 vs 2020, elaboración propia .....	73
Gráfica 13. Ahorros generados en el año 2020 con la utilización de la herramienta, elaboración propia .	74

## Resumen

En la compañía en la cual se pretende desarrollar el proyecto se fabrican una serie de productos enfocados en el desempeño de la nutrición animal, esta línea se le llama minerales orgánicos, estos minerales orgánicos tienen unas submaterias primas que llamamos bases (Sulfatos-Óxidos), estas bases mediante un proceso de secado por atomización(Spry Drier) pasan a ser minerales orgánicos, estos son la materia prima para fabricación de Prokeles, estos a su vez son el producto final de venta al cliente.

El proceso como podemos ver es un proceso de 3 fases (1 de recepción y 2 de transformación o fabricación) en las cuales cada una de estas requieren unos análisis de laboratorio al 100% de los lotes ingresados o fabricados llamados de principio activo, la espera de los resultados de estos análisis retiene el flujo productivo en un promedio de 12 días y generan altos costos en análisis de laboratorio que van desde \$98.000 hasta \$128.000 (Dependiendo del tipo de análisis y la técnica. El promedio de valor por análisis es de 125.000\$) y adicional nos obliga a tener Buffer altos para poder responder a los clientes ya que la promesa de servicio es de 2 días.

Buscamos mediante el análisis de datos con herramientas estadísticas de calidad tales como: Histogramas-Graficas de control-Diagramas de Pareto-Campana de Gauss-Graficas de Arima-Graficas de Dispersión, SPC, Índice CPK, Estratificación. Crear una herramienta que permita generar reglas de dinamización que generen no un proceso de control para liberación al 100% si no un proceso de validación aleatoria de los procesos.

Palabras clave: control de calidad, control estadístico de procesos (SPC), alimentación animal, minerales orgánicos aminoquelados, flujo de procesos.

### **Summary**

In the company in which the project is intended to develop are manufactured a series of products focused on the performance of animal nutrition, this line is called organic minerals, these organic minerals have raw submateries that we call bases (Sulfatos-Oxides), these bases through an spray drying process (Spray Drier) become organic minerals, these are the raw material for manufacturing Prokeles, these in turn are the final product of sale to the customer.

The process as we can see is a process of 3 phases (1 of reception and 2 of transformation or manufacture) in which each of these require laboratory analysis at 100% of the batches entered or manufactured called active substance, waiting for the results of these analyses retains the production flow in an average of 12 days and generates high costs in laboratory analysis ranging from \$98,000 to \$128,000 (depending on the type of analysis and technique. The average value per analysis is \$125,000) and additional forces us to have high Buffer to be able to respond to customers since the promise of service is 2 days.

We search by analyzing data with quality statistical tools such as: Histograms-Control Charts-Pareto Diagrams-Gauss Bell-Arima-Scatter Graphs, SPC, CPK Index, Stratification. Create a tool that allows you to generate dynamic modification rules that generate not a control process for 100% release but a random validation process of the processes.

Keywords: quality control, statistical process control (SPC), animal feed, aminochelated organic minerals, process flow.



## **1. Introducción**

### **1.1 Definición del Problema**

En la actualidad el proceso de liberación de Bases (Minerales-Óxidos), Minerales orgánicos y Prokeles tiene una serie de problemas:

Se tiene un tiempo de proceso o flujo desde la entrada de la base hasta la conversión en un Prokel de un total de 12 días calendario. Que se convierten en ocasiones en 16 días.

El 60% de las novedades en la promesa de servicio por bajo nivel de inventario se deben a Prokeles o Minerales Orgánicos.

El 60% de las novedades en incumplimientos de la promesa de servicio en el ítem de bajo nivel de inventario se debieron a materiales ligados a minerales orgánicos

El valor del inventario de los productos ligados a minerales orgánicos representa un 55% del valor total de las bodegas de productos terminados; contrasta contra solo un 12% de las referencias de esta.

La liberación del 100% de los baches fabricados o materias primas recibidas ligadas a minerales orgánicos requiere análisis para su liberación.

Valor anual actual de análisis enviados a laboratorio corresponde a un valor de 210.945.000\$ (Promedio valor análisis 123.000\$ x 1.715 Análisis).

El proceso preparación de muestras para envío a laboratorio, documentación para envío, seguimiento a los laboratorios, y tratamiento de datos, ocupa aproximadamente el 60% del tiempo de trabajo de 2 auxiliares de calidad.

Con este estudio se pretende responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿cómo se garantiza la calidad del producto y la disminución de los costos, al implementar una herramienta capaz de analizar la capacidad de los procesos de producción de minerales orgánicos?

## **2. Justificación**

Queremos aplicar los conceptos de calidad más desde la metodología oriental que la occidental, la metodología de occidente habla de la calidad del producto siempre y cuando este en unos rangos, la metodología oriental habla de la función de pérdida que nos indica que entre más dispersión halla entre los datos, y estos estén más alejados de un límite mayor es la pérdida, nos indica pues que así tengamos un producto en los límites si estos datos son muy variables no tenemos un producto en control y este genera pérdida.

Iniciamos este proyecto basados en la necesidad de ayudar a mejorar el flujo de los productos elaborados sean estos PT o PI, también en la liberación de MP para su uso en fabricación. Actualmente tenemos un Análisis al 100% de las fabricaciones y recepciones, Al no analizar la data que se tiene de varios años, creemos que tenemos poca confiabilidad de los resultados efecto de los procesos, por esto “controlamos” al 100%.

Lo que se hizo fue descargar la información de los últimos 2 años guardada en el ERP con el cual cuenta la empresa (SAP) y analizar cada código, según sus niveles de cumplimiento a los rangos establecidos, y encontramos que más del 90% de los códigos presentan cumplimientos de más de 96% en sus resultados, encontrando incluso que las bases (Sulfatos y Óxidos) presentan niveles de cumplimiento del 100% y niveles Six Sigma.

El problema para solucionar en este aspecto consiste en un gasto calculado anual de 210.945.000\$ en análisis de principios activos aplicados a productos de los cuales un 90% de ellos tienen un cumplimiento superior al 95%. Esta información no se tenía anteriormente porque los resultados que se generaban del laboratorio para cada bache se les daban el tratamiento en la herramienta ERP y eran liberados al cumplir vs los rangos estipulados. Cuando un resultado no cumplía el lote simplemente pasaba a bloqueo y era reformulado.

Con la herramienta actual buscamos disminuir los análisis en más de un 60% buscando generar un ahorro aproximado de 126.000.000\$ anuales.

Con la metodología actual de análisis al 100% de los baches o lotes fabricados (ver figura 1) se ha calculado un flujo de 12 días en tiempos de espera para resultados de análisis de laboratorio. Lo cual genera que el indicador mensual de nivel de servicio se vea afectado, se encontró en el análisis mes a mes que más de 60% de los incumplimientos son generados por los Prokeles y minerales orgánicos.

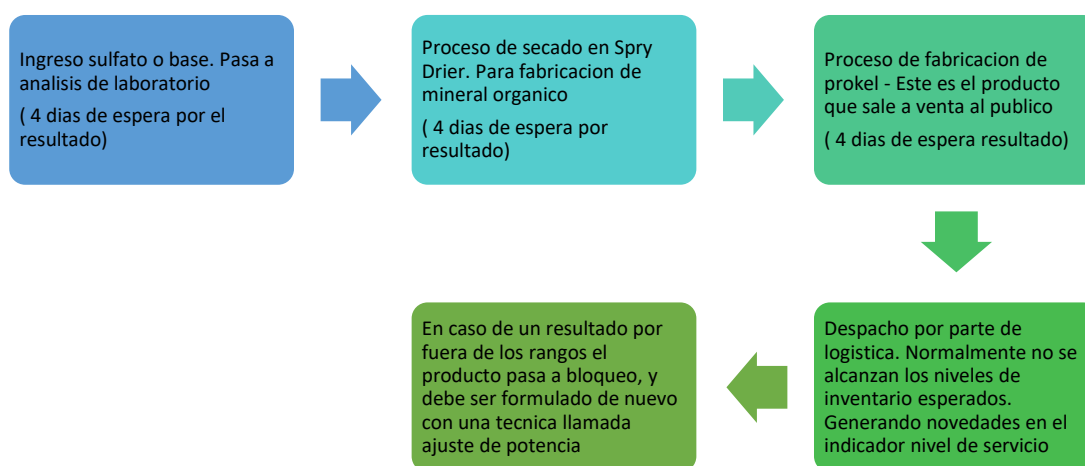


Figura 1. Secuencia de fabricación Orgánica. Elaboración propia

Con esta nueva metodología no vamos a bajar los tiempos de flujo, pues seguirán siendo los mismos, lo que se generaría sería una disponibilidad inmediata de los productos en cada una de sus etapas de un 70% aproximado. Esto se generaría debido a que un 70% de los baches fabricados o materias primas que ingresan no generarían análisis y su disponibilidad depende solo de un tratamiento de calidad que tiene un tiempo de ciclo menor a 6 horas.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Implementar una herramienta capaz de analizar la capacidad de los procesos de producción de minerales orgánicos como una forma de garantizar la calidad del producto disminuyendo los costos del análisis de datos.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Explotar capacidades internas en cuanto a tecnologías y programas instalados generando indicadores de seguimiento que apoyen el control de calidad de manera transversal a los procesos de abastecimiento y transformación

Utilizar herramientas estadísticas de calidad como: Histogramas, diagramas o gráfico de control, diagramas de dispersión, también gráficas de analisis predictivas como la gráfica Arima en pro de generar una herramienta de control estadístico que apoye la correcta toma de decisiones referentes a la reducción de envíos a analisis de laboratorio generando de esta manera una disminución en los valores globales de analisis y una mejora en los tiempos de flujo lo que apoyaría indicadores como el de entregas perfectas y calidad a la primera.

Apoyados en el control estadístico de procesos generar acciones de mejora que aporten un producto con resultados más centrado respecto a sus especificaciones. (Función de pérdida de Genichi Taguchi)

## **4. Marco Teórico**

### **4.1 Proceso de producción de aditivos químicos para alimentación animal**

Es difícil encontrar una definición precisa al hablar de aditivos para alimentación animal, pero trataremos de entregar una definición lo más acorde posible, un aditivo alimentario se refiere a un producto que va inmerso o incluido en la formulación o receta a un nivel relativamente bajo de inclusión con el propósito de incrementar la calidad nutricional del alimento, el bienestar o salud del animal. El reglamento CE1831/ nos indica de una manera más técnica que son preparados o materias primas que se adicionan intencionalmente en los alimentos o el agua para influir favorablemente en:

- Características de los piensos o de los productos de origen animal
- Condiciones ambientales para la producción animal

Los rendimientos productivos, el bienestar, la salud, mediante su influencia en el perfil de la flora microbiana intestinal o la digestibilidad de los alimentos.

A su vez estos se dividen en:

- Aditivos tecnológicos (Antioxidantes, emulsificantes o acidificantes)
- Aditivos sensoriales (Aromas, pigmentos)
- Aditivos Nutricionales (Vitaminas, minerales trazas, aminoácidos)
- Aditivos Zootécnicos (Potenciadores de la digestión, estabilizadores de la flora intestinal)

(Ravindran, 2010)

#### **4.1.1 ¿Que es un aditivo y como se regula?**

Los aditivos son sustancias que no se consumen como alimentos ni ingredientes, pero que se añaden a los productos alimentarios en su producción, preparación, envasado o almacenamiento para hacerlos más seguros, nutritivos o apetecibles, sin que les afecten las condiciones ambientales. Su uso está estrictamente regulado y deben cumplir tres condiciones: que su utilidad haya sido demostrada, que sean completamente seguros y que no induzcan a error, sugiriendo unas características que el alimento no tiene.

En la Unión Europea, antes de que un nuevo compuesto químico sea aprobado como aditivo alimentario debe ser evaluado por el Comité Científico para la Alimentación Humana (SCF). Esa evaluación se basa en la revisión de todos los datos obtenidos a partir de estudios efectuados en personas y animales. Con ellos en la mano, se establece la cantidad máxima del aditivo que podrá llevar un alimento, que son las dosis en que su seguridad está comprobada. (Benavente, 2016).

#### **4.1.2 ¿A qué se refieren cuando hablan de minerales orgánicos?**

Los complejos minerales se utilizan para nutrición animal, y se conocen con el nombre genérico de ‘orgánicos’, porque están compuestos de oligoelementos unidos a moléculas orgánicas. Así se clasifican estos compuestos.

En primer lugar, está el complejo metal-aminoácido, que es el producto resultante de la reacción de una sal metálica soluble con un aminoácido. Es un complejo de bajo peso molecular ya que es la unión de un mol de metal con un mol de aminoácido (complejo 1:1).

Los segundos son los quelatos, que resultan de la reacción entre una sal metálica soluble con varios aminoácidos. La reacción molecular suele ser 1:2 o 1:3, es decir, un ion metálico y 2 o 3 iones de aminoácidos para formar enlaces covalentes coordinados.

Los terceros son los polisacáridos, de alto peso molecular, que resultan de la reacción de una sal soluble con polisacáridos.

Los últimos son los proteinatos, complejos con aminoácidos y/o proteínas parcialmente hidrolizadas.

Los minerales se definen como elementos inorgánicos (comúnmente metales) que se combinan con algún otro grupo de elementos químicos, como un óxido, un fosfato, un sulfato o un carbonato. En el organismo, están combinados de modo más complejo con otros constituyentes orgánicos como enzimas, hormonas, proteínas y/o aminoácidos.

La unión entre un mineral y una molécula orgánica se realiza a través del proceso natural de la quelación. De esta manera, se han elaborado quelatos en condiciones controladas uniendo sales minerales inorgánicas con mezclas de aminoácidos y pequeños péptidos.

En el mundo científico, hay un gran debate sobre el suministro de minerales quelatados. Algunos argumentan que pueden ser un obstáculo para su absorción y otros sostienen que los minerales ‘orgánicos’ no existen. En cambio, hay productores que favorecen el ofrecimiento de estos complejos, pues los quelatados tienen hasta el 90% de absorción porque encapsulan los microminerales evitando interferencias en el rumen. Otros afirman que los minerales en forma quelatados son mejores y se deben ofrecer en sales en periodo seco, y de forma inyectable en el periparto (Contexto Ganadero, 2019).

#### **4.1.3 Importancia de los minerales quelatados en la alimentación**

La quelación es un proceso natural por el cual los elementos inorgánicos minerales, son transformados en formas orgánicas, que pueden ser absorbidas perfectamente por las vellosidades intestinales, y pasar así al torrente sanguíneo. La quelación podría definirse como un proceso en el que el mineral es envuelto por los aminoácidos, formando una especie de pelota con el mineral en el centro, evitándose así que reaccione con otras sustancias. A través de experimentos realizados, se ha comprobado que la absorción de los quelatos de aminoácidos y minerales es muy superior a la de cualquier otro tipo de suplementos minerales.

Otros investigadores consideran que la quelación es un proceso natural, por medio del cual un mineral se une a una molécula orgánica que permite su transporte directo hacia la corriente sanguínea. Como ejemplos de productos quelados naturales se pueden citar: la hemoglobina, con el hierro, la clorofila, con el magnesio, o la vitamina B12, con el cobalto. En todos los casos, el agente quelante impide que el metal reaccione y se combine con otros compuestos en la luz intestinal, evitando los problemas de interferencia, que son causa de la baja



biodisponibilidad del mineral. Como agentes de quelación se han utilizado distintos compuestos (Araque, Medina, Sánchez, Delgado, & Espinosa, 2010).

Los seres vivos, animales o vegetales, necesitan elementos minerales para desarrollar sus funciones. De forma que la vida no será posible sin el concurso mineral. De los trece elementos inorgánicos esenciales, considerados hoy como aditivos, y a los que posiblemente se vincule algún nuevo elemento en un futuro próximo, ocho de ellos son cationes:

- Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ )
- Sodio ( $\text{Na}^{++}$ )
- Potasio ( $\text{K}^{+}$ )
- Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ )
- Zinc ( $\text{Zn}^{++}$ )
- Hierro ( $\text{Fe}^{++}$ )
- Cobre ( $\text{Cu}^{++}$ )

Cinco son aniones o se encuentran normalmente en agrupaciones aniónicas:

- Cloro ( $\text{Cl}^{-}$ )
- Iodo ( $\text{I}^{-}$ )
- Fósforo ( $\text{PO}_4$ )
- Molibdeno ( $\text{MoO}_4$ )
- Selenio ( $\text{SeO}_3$ )

Por otro lado, a medida que la producción por animal es mayor y las explotaciones ganaderas se hacen intensivas la importancia de los minerales se acrecienta, y no es de extrañar que, si la década de los sesenta fue la década de los aminoácidos y de la energía, en el amplio

marco de la nutrición animal, los últimos años se han convertido en la década de los minerales. Y no sólo en alimentación animal, sino también en la alimentación humana. Así las deficiencias en hierro y zinc observadas en niños y adultos en los últimos años, la presencia de elementos tóxicos en los alimentos del hombre y de los animales, y la sustitución de los productos de origen animal por proteínas vegetales son circunstancias determinantes de que en los últimos años se haya intensificado la investigación en la búsqueda de compuestos de oligoelementos, desposeídos de las cualidades negativas que presentan las sales inorgánicas. Los quelados con aminoácidos son muy estables, debido a que el metal es químicamente inerte. Sólo los quelatos formados por aminoácidos y cuyo peso molecular total incluido el metal, es inferior a 800 Daltons atraviesan las membranas de las células intestinales sin necesidad de ser hidrolizados en el lumen. De acuerdo con los conocimientos sobre absorción intestinal y tamaño de partículas, podemos decir que una molécula proteica de mayor tamaño al del dipéptido no puede transportar de manera efectiva un ion cualquiera a través de la mucosa, ya que, es hidrolizada previamente en el lumen (Infoagro, 2017).

#### **4.2 Control estadístico de la calidad**

El Control Estadístico de Procesos es una técnica de control de calidad que nació hace casi un siglo de la mano de las investigaciones prácticas de Walter A. Shewhart, físico e ingeniero empleado de la compañía Western Electric. La necesidad de disminuir la tasa de reparaciones y errores de fabricación fueron el objeto de su trabajo y la génesis de sus descubrimientos, posteriormente popularizados por Edward Deming, otro gigante de la Calidad.

### 4.2.1 Conceptos

Ningún proceso, natural o industrial, es capaz de suministrar dos unidades exactamente iguales. Un buen proceso industrial se caracterizará por generar unos productos con un alto grado de homogeneidad, pero no réplicas exactas. Si medimos una característica de un proceso de manufactura (o de un servicio) no podemos entonces esperar obtener lecturas idénticas, salvo por el límite de precisión que nos marque el instrumento de medida.

Ningún proceso, natural o industrial, es capaz de suministrar dos unidades exactamente iguales. Un buen proceso industrial se caracterizará por generar unos productos con un alto grado de homogeneidad, pero no réplicas exactas. Si medimos una característica de un proceso de manufactura (o de un servicio) no podemos entonces esperar obtener lecturas idénticas, salvo por el límite de precisión que nos marque el instrumento de medida.

La palabra control implica el concepto de predicción. Una característica de calidad está controlada cuando somos capaces de predecir, dentro de unos márgenes, cuál será su comportamiento futuro. En otras palabras, cuando somos capaces de asignar unas probabilidades de que la característica encaje dentro de unos ciertos límites.

Si tenemos un dado sin cargar, ¿cuál es la probabilidad de obtener un 5 hoy? Evidentemente  $1/6$ . ¿Y dentro de 10 años? Lo mismo. El motivo es que tanto hoy como dentro de 10 años si usamos en ambas ocasiones un dado sin cargar, las “fuerzas” que intervienen en el resultado final son las mismas. Hay un conjunto de causas, que desconocemos y posiblemente sean muy numerosas, que actúan de idéntica forma en ambas ocasiones. Por lo demás parece bastante poco realista llegar a conocer el conjunto de causas, lo que teóricamente nos pondría en la situación de poder obtener un resultado determinado porque podríamos controlarlas (figura 2).

En un sistema de producción existe un determinado conjunto de causas que “siempre están ahí”, sin embargo, de vez en cuando se cuelean otras causas “foráneas” que contaminan el equilibrio estadístico del proceso. Estas causas foráneas pueden ser, por ejemplo, falta de formación de trabajadores nuevos, averías de máquinas, no conformidad de materias primas, etc. a estas causas “foráneas” se les denomina causas asignables (Conde, 2019).

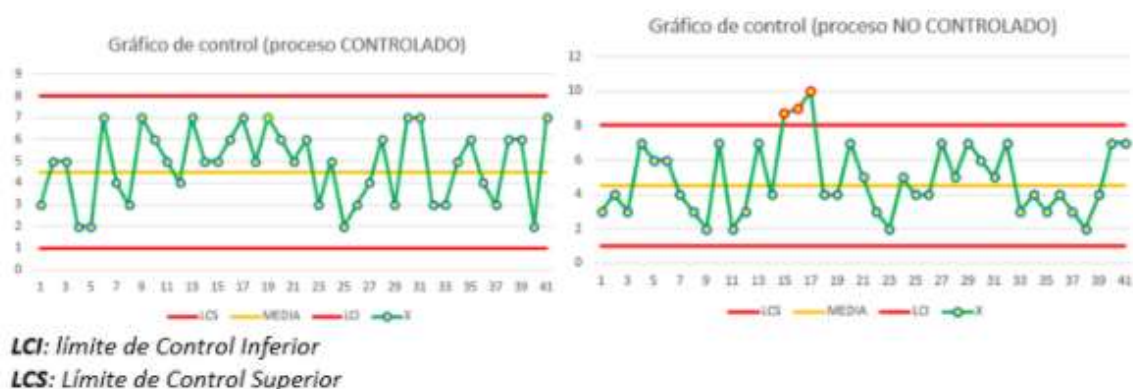


Figura 2. Gráfica de control de procesos, de (Conde, 2019).

#### 4.2.3 Medidas de tendencia central

Las medidas de tendencia central son medidas estadísticas que pretenden resumir en un solo valor a un conjunto de valores. Representan un centro en torno al cual se encuentra ubicado el conjunto de los datos. Las medidas de tendencia central más utilizadas son: media, mediana y moda. (Ricardi, 2011).

Medidas de Tendencia Central o de Posición. Las medidas de tendencia central describen las características básicas de un conjunto de datos. Son medidas representativas del conjunto y generalmente se resume mediante un valor numérico que indica la variación entre éstos. Las medidas de tendencia central son:

a) La Moda ( $M_o$ ): La moda de un conjunto de datos es el valor (o cualidad) de la variable aleatoria que aparece con mayor frecuencia.

b) La Mediana ( $M_e$ ): La mediana es el valor de la variable aleatoria que se encuentra en el centro de un conjunto ordenado de datos

c) La Media aritmética: La media aritmética, también llamada promedio o media, de un conjunto finito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria, recibe el nombre de media muestral, siendo uno de los principales estadísticos muestrales (Parra, 1995).

#### **4.2.4 Medidas de dispersión o variabilidad**

Las medidas de dispersión en cambio miden el grado de dispersión de los valores de la variable. Dicho en otros términos las medidas de dispersión pretenden evaluar en qué medida los datos difieren entre sí. De esta forma, ambos tipos de medidas usadas en conjunto permiten describir un conjunto de datos entregando información acerca de su posición y su dispersión. (Ricardi, 2011).

Las medidas de variabilidad nos informan sobre el grado de concentración o dispersión que presentan los datos respecto a su promedio. Se le llama homogénea, concentrada o poco dispersa a aquella distribución en la que todos los datos están cercanos al centro, como 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 7, y se le llama heterogénea o dispersa a la distribución con datos más separados del centro, como 1 3 5 8 10 16 20.

Hay diversas formas de medir la variabilidad. Entre las más importantes destacan las siguientes:

- a) Rango. También llamado Recorrido o Amplitud total, es la diferencia entre el máximo valor del conjunto de datos y el mínimo de ellos. A mayor rango, mayor dispersión. El rango del conjunto 4 6 4 7 8 6 5 3 4 7 7 9 6 5 es 6, la diferencia entre el máximo 9 y el mínimo 3. A veces se usa el Rango verdadero que consiste en considerar cada dato rodeado de una unidad, por efecto de los redondeos, con lo que en el ejemplo anterior el mínimo sería 2,5 y el máximo 9,5. Con ello el rango se convertiría en 7. No es una medida buena, pues ignora todo lo que ocurre dentro de ese rango.
- b) Desviación Media. Es una medida de la dispersión consistente en la media aritmética de las desviaciones individuales respecto a la media, tomadas en valor absoluto, también se usan desviaciones respecto a la mediana.
- c) Varianza. Es una medida muy sensible de la variabilidad y base de muchas técnicas estadísticas. Junto con la media forma el conjunto más importante de medidas es propia de las medidas de intervalo o razón. Su inconveniente es que no usa la misma unidad que los datos, sino su cuadrado.
- d) Desviación Típica. Es la raíz cuadrada de la varianza. Su objeto es conseguir medir la variabilidad en las mismas unidades que los datos. Así, un conjunto medido en metros tendrá la varianza medida en metros cuadrados, pero la desviación típica en metros. Como en la varianza, para datos aislados basta con suprimir las frecuencias  $n_i$ , la desviación típica  $s$  es base de muchas técnicas, al igual que la media y la varianza. Su gran ventaja es estar medida en las mismas unidades que los datos y la media, lo que permite establecer razones y proporciones entre ellas.

La desviación típica cumple la llamada desigualdad de Tchebychev: según la cual, los datos que se alejan de la media una distancia igual o menor que  $s$ , multiplicado por un coeficiente  $k$  suponen más de la proporción  $1-1/k^2$ . Así, el 75% de los datos al menos, se encuentra a menos de dos desviaciones típicas y el 89% a menos de tres (Rodríguez, s.f.).

#### **4.2.5 Histograma y tabla de frecuencias**

La distribución de frecuencias o tabla de frecuencias es una ordenación en forma de tabla de los datos estadísticos, asignando a cada dato el número de veces que aparece dicho valor, o lo que es lo mismo, su frecuencia correspondiente. Las tablas de frecuencias más sencillas son las que se construyen a partir de los distintos valores de variables cualitativas, o en su caso, de variables cuantitativas discretas con pocos posibles valores. La construcción de tablas de frecuencias unidimensionales para variables de naturaleza cuantitativa continua con multitud de valores diferentes.

Para la construcción de las tablas de frecuencia, es necesario estimar los siguientes estadísticos:

a) Frecuencia absoluta. Se representa por  $n_i$  y es el número de veces que aparece un determinado valor de una variable aleatoria.

b) Frecuencia relativa. La frecuencia relativa es el cociente entre la frecuencia absoluta de un determinado valor y el número total de datos,  $N$ . Se representa por  $f_i = n_i/N$ .

Suele expresarse en porcentaje.

c) Frecuencia absoluta Acumulada. Es la suma de las frecuencias absolutas, ordenados los valores de menor a mayor. La frecuencia absoluta del máximo valor es igual al número total de datos, que se representa por  $N$ .

d) Frecuencia relativa Acumulada. Es la suma de las frecuencias relativas de todos los valores inferiores o iguales al valor considerado. Se representa por  $F_i$ . La suma de las frecuencias relativas totales debe ser igual a 1 (o 100%).

(Ricardi, 2011)

#### **4.2.6 Medidas de forma**

Estas son aquellas que nos muestran si la distribución de frecuencias tiene características especiales como asimetría, simetría, nivel de concentración de datos y nivel de apuntamiento que la clasifiquen en un tipo particular de distribución, son necesarias para determinar el comportamiento de los datos y de esta manera poder adaptar herramientas en pro del análisis probabilístico.

Para esta existen 2 tipos de características la: coeficiente de asimetría de Fisher y curtosis de apuntalamiento de Fisher.

a) Asimetría: Es una medida de forma de una distribución que permite identificar y describir la manera como los datos tiende a reunirse de acuerdo con la frecuencia con que se hallen dentro de la distribución. Permite identificar las características de la distribución de datos sin necesidad de generar el gráfico. La asimetría puede presentar de las siguientes 3 formas:



- Asimetría negativa o a la izquierda: Se da cuando en una distribución la minoría de los datos está en la parte izquierda de la media. Este tipo de distribución presenta un alargamiento o sesgo hacia la izquierda, es decir, la distribución de los datos tiene a la izquierda una cola más larga que a la derecha.

- Simétrica: Se da cuando en una distribución se distribuyen aproximadamente la misma cantidad de los datos a ambos lados de la media aritmética. No tiene alargamiento o sesgo. Se representa por una curva normal en forma de campana llamada campana de Gauss (matemático Alemán 1777-1855) o también conocida como de Laplace (1749-1827).

- Asimetría Positiva o a la Derecha Se da cuando en una distribución la minoría de los datos está en la parte derecha de la media aritmética. Este tipo de distribución presenta un alargamiento o sesgo hacia la derecha, es decir, la distribución de los datos tiene a la derecha una cola más larga que a la izquierda.

b) Curtosis. La curtosis mide el grado de agudeza o achatamiento de una distribución con relación a la distribución normal, es decir, mide cuán puntiaguda es una distribución. La curtosis determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución Esta se presenta de 3 maneras.

- Leptocúrtica.- Existe una gran concentración.
- Mesocúrtica.- Existe una concentración normal.
- Platicúrtica.- Existe una baja concentración

(Suarez & Tapia, 2012)

#### 4.2.7 Cuantiles (percentiles)

Los cuantiles son los valores de la distribución que la dividen en partes iguales, es decir, en intervalos que comprenden el mismo número de valores. Cuando la distribución contiene un número alto de intervalos o de marcas y se requiere obtener un promedio de una parte de ella, se puede dividir la distribución en cuatro, en diez o en cien partes. Los más usados son los cuartiles, cuando dividen la distribución en cuatro partes; los deciles, cuando dividen la distribución en diez partes y los centiles o percentiles, cuando dividen la distribución en cien partes. Los cuartiles, como los deciles y los percentiles, son en cierta forma una extensión de la mediana.

Para algunos valores  $u$ , se dan nombres particulares a los cuantiles,  $Q(u)$ , figura 3:

$u$	$Q(u)$
0.5	Mediana
0.25, 0.75	Cuartiles
0.1, ..., 0.99	Deciles
0.01, ..., 0.99	Centiles

Figura 3. Cuantiles (Percentiles), de (Martines & Benlloc, 2011)

- Cuartiles: Los cuartiles son los tres valores que dividen al conjunto de datos ordenados en cuatro partes porcentualmente iguales. Hay tres cuartiles denotados usualmente  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ . El segundo cuartil es precisamente la mediana. El primer cuartil, es el valor en el cual o por debajo del cual queda un cuarto (25%) de todos los valores de la sucesión (ordenada);

el tercer cuartil, es el valor en el cual o por debajo del cual quedan las tres cuartas partes (75%) de los datos.

- Deciles: Los deciles son ciertos números que dividen la sucesión de datos ordenados en diez partes porcentualmente iguales. Son los nueve valores que dividen al conjunto de datos ordenados en diez partes iguales.
- Centiles o percentiles. Los percentiles son, tal vez, las medidas más utilizadas para propósitos de ubicación o clasificación de las personas cuando atienden características tales como peso, estatura, etc. Los percentiles son ciertos números que dividen la sucesión de datos ordenados en cien partes porcentualmente iguales. Estos son los 99 valores que dividen en cien partes iguales el conjunto de datos ordenados. (Garcia, 2020)

#### **4.2.7 Diagramas de caja**

En el año de 1977 el estadístico John Turkey publicó un tipo de gráfico estadístico para resumir información utilizando 5 medidas estadísticas: el valor mínimo, el primer cuartil, la mediana, el tercer cuartil y el valor máximo. Este tipo de gráfico recibe el nombre de gráfico de caja (boxplot). El gráfico de este tipo consiste en un rectángulo (caja), donde sus lados más largos muestran el recorrido intercuartílico (RIC). Este rectángulo está dividido por un segmento vertical que indica donde se posiciona la mediana y por lo tanto su relación con los cuartiles primero y tercero. Este rectángulo se ubica a escala sobre un segmento que tiene como extremos los valores mínimo y máximo de la variable. Estos segmentos que quedan a izquierda y a derecha de la caja se llaman bigotes.

Los bigotes tienen un límite de prolongación, de modo que aquellos valores atípicos que se separan del cuerpo principal de datos se indican individualmente. A diferencia de otros métodos de presentación de datos, los gráficos de caja muestran los valores atípicos de la variable. Llamaremos valores atípicos de la variable a aquellos que están tan apartados del cuerpo principal de los datos que bien pueden representar los efectos de causas extrañas, como algún error de medición o registro. Su eliminación no se justifica, ya que el propósito del gráfico de caja consiste en brindarnos un mayor conocimiento de la forma en que se distribuyen los datos.

Por otra parte, este tipo de gráfico nos proporciona información con respecto a la simetría o asimetría de la distribución. Se utilizan los siguientes criterios:

Si la mediana está en el centro de la caja o cerca de él, constituye un indicio de simetría de los datos,

Si la mediana está considerablemente más cerca del primer cuartil indica que los datos son positivamente asimétricos.

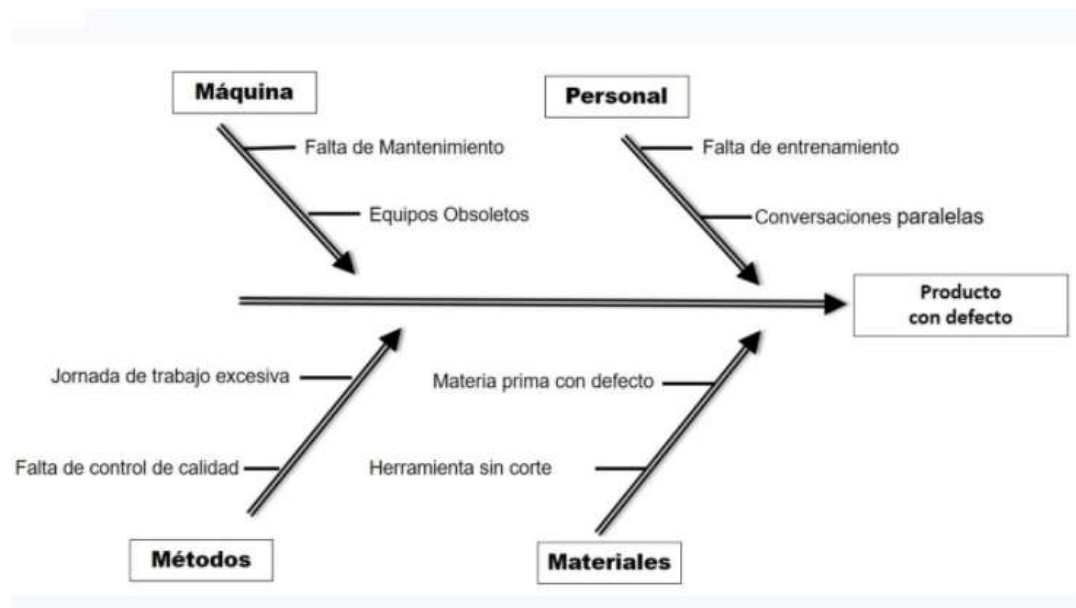
Si está más cerca del tercer cuartil, señala que los datos son negativamente asimétricos. La longitud relativa de los bigotes se puede emplear como un indicio de su asimetría. (Claudia, Viviana, Vivian, & cecilia, 2005)

#### **4.2.8 Diagrama de Ishikawa (o de causa-efecto)**

Se trata de una herramienta para el análisis de los problemas, que permite la conexión entre un efecto (Problema) y todas las posibles causas que los ocasionaron.

El diagrama causa-efecto (figura 4) está compuesto por un recuadro que constituye la cabeza del pescado, una línea principal, que constituye su columna, y de 6 líneas apuntando a la línea principal formando un ángulo de unos 70°, que constituyen sus espinas principales las cuales identifican:

- Hombre
- Material
- Maquina
- Método
- Entorno
- Medida



*Figura 4.* Diagrama De Ishikawa, tomado de (Rosemary Martins;Jeison Arenhrt, 2018)

La construcción de este requiere comprender las siguientes etapas:

- Construcción de un equipo interdisciplinario
- Partir de un diagrama en blanco, y en este escribir de manera clara y concisa el problema o efecto que se está presentando
- Identificar las categorías dentro de las cuales se pueden clasificar las causas del problema.
- Identificar las causas (Mediante una lluvia de ideas, o una metodología de investigación con listas de chequeo o entrevistas al personal, análisis de flujogramas o secuencias de fabricación. Logrando de esta manera identificar diferentes factores que causan el problema).
- Preguntarse el porqué de cada una de estas causas, para esto podemos utilizar la metodología de los 5 porque la cual ayuda a profundizar y encontrar causas que están en la raíz y no se ven de inicio en las investigaciones.

Creado en la década de 60, por Kaoru Ishikawa, el diagrama tiene en cuenta todos los aspectos que pueden haber llevado a la ocurrencia del problema, de esa forma, al utilizarlo, las posibilidades de que algún detalle sea olvidado disminuyen considerablemente.

En la metodología, todo problema tiene causas específicas, y esas causas deben ser analizadas y probadas, una a una, a fin de comprobar cuál de ellas está realmente causando el efecto (problema) que se quiere eliminar. Eliminado las causas, se elimina el problema.

El Diagrama de Ishikawa es una herramienta práctica, muy utilizada para realizar el análisis de las causas-raíces en evaluaciones de no conformidades, como se muestra en el ejemplo siguiente, ver figura 5.

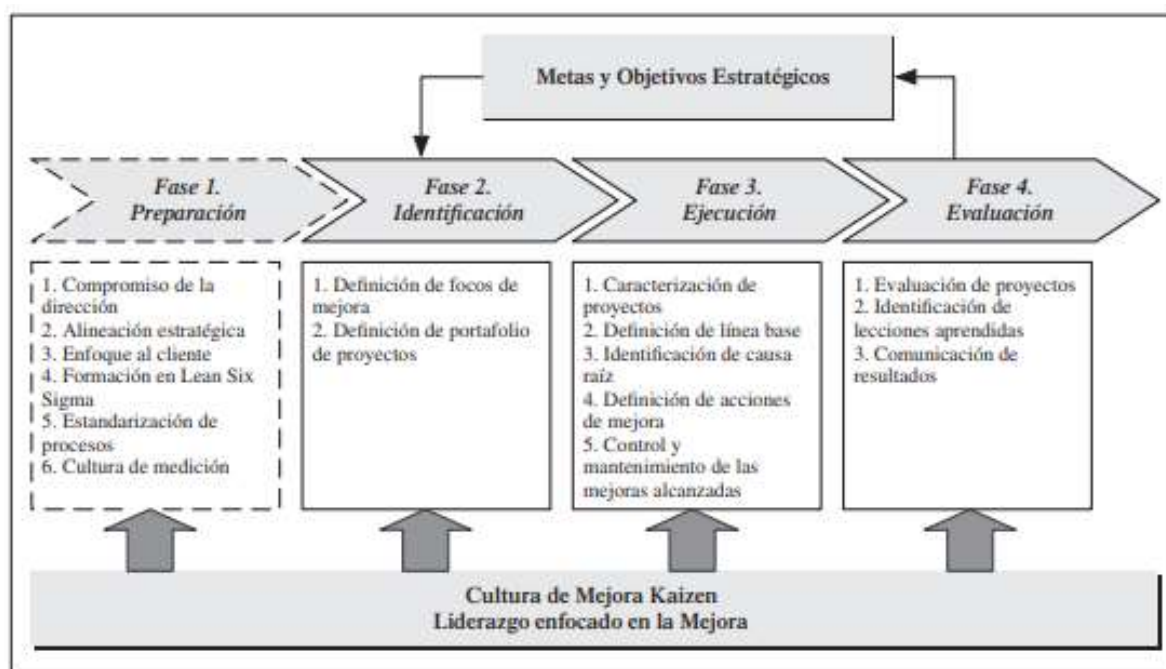


Figura 5. Metodología Implementación Six Sigma, de (Jimenes & Amaya, 2014).

**¿Para qué se utiliza?** Es posible aplicar el diagrama de Ishikawa a diversos contextos, y de diferentes maneras, entre ellas se podrían destacar las siguientes:

- Evaluar e identificar las causas principales y secundarias de un problema.
- Ver de manera más sistémicas las causas de un problema, y de esta manera ampliar la visión sobre este.
- Identificar soluciones acordes a los recursos disponibles en la compañía.
- Para generar mejoras que se lograron identificar en los procesos (Rosemary Martins; Jeison Arenhart, 2018).

#### **4.2.9 Diagrama de Pareto**

El principio de Pareto es también conocido como la regla del 80-20, distribución A-B-C, ley de los pocos vitales o principio de escasez del factor.

Recibe uno de sus nombres en honor a Vilfredo Pareto, quien lo enunció por primera vez, basándose en el denominado conocimiento empírico. Estudió que la gente en su sociedad se dividía naturalmente entre los «pocos de muchos» y los «muchos de poco»; se establecían así dos grupos de proporciones 80-20 tales que el grupo minoritario, formado por un 20 % de población, ostentaba el 80 % de algo y el grupo mayoritario, formado por un 80 % de población, el 20 % de ese mismo algo.

Este diagrama:

- Permite asignar un orden de prioridades.
- Permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos muy



importantes. Mediante la gráfica colocamos los «pocos que son vitales» a la izquierda y los «muchos triviales» a la derecha.

- Facilita el estudio de las fallas en las industrias o empresas comerciales, así como fenómenos sociales o naturales psicosomáticos.

Hay que tener en cuenta que tanto la distribución de los efectos como sus posibles causas no es un proceso lineal, sino que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos y rebotes internos del pronosticado.

El principal uso que tiene el elaborar este tipo de diagrama es para poder establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de una organización. Evaluar todas las fallas, saber si se pueden resolver o mejor evitarlas.

Cómo se hace un diagrama de Pareto:

- Seleccionar los aspectos que se van a analizar. ¿Cuál es el problema y las causas que se van a tratar?
- Seleccionar la unidad de medida para el análisis: la cantidad de ocurrencias, los costos u otra medida de influencia.
- Seleccionar el período de tiempo para el análisis de los datos, por ejemplo: un ciclo de trabajo, un día completo, una semana, etc.
- Relacionar los aspectos de izquierda a derecha en el eje horizontal en el orden de magnitud decreciente de la unidad de medida. Las categorías que contienen la menor cantidad de aspectos pueden combinarse en «otra» categoría, la cual se debe colocar en la extrema derecha). Encima de cada aspecto, se dibuja un rectángulo cuya altura represente la magnitud de la unidad de medida para cada aspecto.

- Construir la línea de frecuencia acumulativa sumando las magnitudes de cada aspecto de izquierda a derecha.

Utilizar el Diagrama de Pareto para identificar los aspectos más importantes para el mejoramiento de la calidad (Medrano, 2017).

**Diagrama de Pareto ponderado.** Un diagrama de Pareto ponderado no solamente considera la frecuencia de ocurrencia, sino también su importancia. Un diagrama de Pareto ponderado puede explicar la gravedad de los defectos, o su costo o cualquier elemento al que desee hacer un seguimiento. Supongamos que se tienen 5 defectos de revestimiento a los que está haciendo seguimiento: arrugas, manchas, rayas, salpicaduras de sucio y burbujas.

Se deben recolectar datos acerca de la frecuencia de la ocurrencia de defectos y el costo de reparar las unidades defectuosas. Un diagrama de Pareto ponderado puede cambiar su prioridad con respecto a los proyectos de mejora al considerar los datos basándose tanto en los datos de costo como de frecuencia. Por ejemplo, aun cuando las arrugas sean más frecuentes, son menos costosas de reparar que las salpicaduras de sucio, las cuales son una ocurrencia más rara. Al tener en cuenta tanto el costo como la frecuencia, usted comprenderá mejor el costo de una calidad deficiente (COPQ).

El diagrama de Pareto es fácil de entender y utilizar; sin embargo, es importante tener en cuenta lo siguiente:

Datos recolectados durante un corto período de tiempo, especialmente de procesos inestables, pueden llevar a conclusiones incorrectas.

Debido a que los datos podrían no ser confiables, usted podría obtener una idea incorrecta de la distribución de defectos y causas.

Cuando el proceso no está en control, las causas pueden ser inestables y los pocos problemas vitales pueden cambiar de una semana a la siguiente. Los períodos de tiempo cortos podrían no ser representativos de la totalidad de su proceso.

Los datos recopilados durante largos períodos de tiempo pueden incluir cambios.

Busque en los datos estratificación o cambios en la distribución del problema en el tiempo.

Elija categorías cuidadosamente.

Si su análisis de Pareto inicial no produce resultados útiles, es recomendable que se asegure de que sus categorías sean significativas y de que su categoría "otro" no sea demasiado grande.

Elija criterios de ponderación cuidadosamente. Por ejemplo, el costo podría ser una medida más útil para asignar prioridades en comparación con el número de ocurrencias, especialmente cuando difieren los costos de varios defectos.

Concentrarse en los problemas con la mayor frecuencia debería reducir el número total de elementos que necesitan reparación.

Concentrarse en los problemas con el mayor costo debería aumentar los beneficios financieros de la mejora.

La meta de un análisis de Pareto es obtener la máxima recompensa de los esfuerzos de calidad, pero eso no quiere decir que los problemas pequeños y fáciles de resolver deban ignorarse hasta que se hayan resuelto los problemas más grandes. (**support.minitab.com, 2020**)

### **4.3 Índices de capacidad de los procesos**

#### **4.3.1 Índices de capacidad para procesos con doble especificación**

Los índices de capacidad son criterios empleados en el control de calidad, ampliamente aceptados por la industria manufacturera, y tienen relevancia cuando son empleados para monitorear el desempeño de un sistema productivo que opera bajo control estadístico, en cuanto al cumplimiento de las especiaciones técnicas requeridas y exigidas para la fabricación de un producto.

El Índice de Taguchi (Cpm), según la expresión matemática (1), analiza los límites establecidos por el área técnica y la tolerancia o variación natural del proceso, pero se diferencia de los otros índices de capacidad, porque contiene en su fórmula el valor nominal (N), lo que se puede traducir, según Taguchi en el sentido que la mejora de un proceso debe estar enfocada a disminuir su variación con respecto al valor nominal, y no solo a tener en cuenta las especificaciones técnicas del producto [3]. Los rangos a través de los cuales se puede interpretar el índice de Taguchi son:

- $C_{pm} < 1$ : el proceso no cumple con las especificaciones.
- $C_{pm} > 1$ : el proceso cumple con las especificaciones.
- $C_{pm} > 1,33$ : el proceso cumple con las especificaciones, y la  $\mu$  está cerca de las especificaciones.

#### **4.3.2 Capacidad de largo plazo e índices $C_p$ y $C_{pk}$**

Una necesidad muy frecuente en los procesos consiste en evaluar la variabilidad y tendencia central de una característica de calidad, para así compararla con sus especificaciones

de diseño. La capacidad de proceso es el grado de aptitud que tiene un proceso para cumplir con las especificaciones técnicas deseadas.

Cuando la capacidad de un proceso es alta, se dice que el proceso es capaz.

Cuando se mantiene estable a lo largo del tiempo, se dice que el proceso está bajo control.

Cuando no ocurre lo anterior se dice que el proceso no es adecuado para el trabajo o requiere de inmediatas modificaciones.

Para evaluar la capacidad de un proceso (mientras los procesos no sufran modificaciones o reajustes) se suele recurrirse a algunas de las siete herramientas de la calidad, tales como:

- Histogramas
- Gráficos de control
- Planillas de inspección
- Hojas de verificación o de chequeo.
- Diagrama de Pareto.
- Diagramas de dispersión.

Pero cuando el proceso se ve modificado, por ejemplo, con la implementación de una nueva máquina, o con un reajuste de métodos, debe efectuarse un estudio de índices de capacidad. Para realizar un estudio de índices de capacidad necesitamos que este estadísticamente estable, además se necesita que:

Las mediciones individuales del proceso se comporten siguiendo una distribución normal.

Las especificaciones de ingeniería representen con exactitud los requerimientos de los clientes.

Cuando se han identificado desviaciones en el comportamiento estadístico de las mediciones de alguna característica de calidad, la evaluación de la capacidad del proceso inicia después de que en las gráficas de control las causas especiales han sido identificadas, analizadas y corregidas, por ende, las gráficas actuales de control muestran un proceso dentro de control estadístico. (Lopez, 2019)

**Como se clasifican los índices de capacidad.** Los índices de capacidad se pueden clasificar según su posición y alcance temporal en:

- a) Respecto a su posición:
  - Índices centrados con respecto a los límites
  - Índices descentrados con respecto a los límites
  - Solo con límite superior
  - Solo con límite inferior
- b) Respecto a su alcance temporal, ver figura 6:
  - A corto plazo: Capacidad potencial
  - A largo plazo: Capacidad global

	Centrado	No centrado	Con límite superior	Con límite inferior
Corto plazo	$C_P$	$C_{PK}$	$C_{PU}$	$C_{PL}$
Largo plazo	$P_P$	$P_{PK}$	$P_{PU}$	$P_{PL}$

Figura 6. Índices de Capacidad, de (Lopez, 2019).

### Índices de capacidad a corto plazo Cp. y Cpk

**Índice Cp.** Para considerar que un producto sea de calidad, las mediciones de sus características deben ser iguales a su valor ideal, sin embargo, al conocer que la variabilidad es una característica ínsita de todo proceso estas mediciones deben al menos estar dentro de cierta especificación inferior y/o superior. La medida de la capacidad potencial del proceso para cumplir con tales especificaciones de calidad nos la proporciona el índice de capacidad del proceso (Cp.), ver figura 7.

$$Cp = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$$

Donde

$\sigma$  = Desviación estándar

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Figura 7. Cálculo Índice Cp., de (Lopez, 2019)

Para una mejor interpretación del índice, analicemos la siguiente figura 8. Entendiendo que  $d_2$  es una constante que depende del tamaño de la muestra

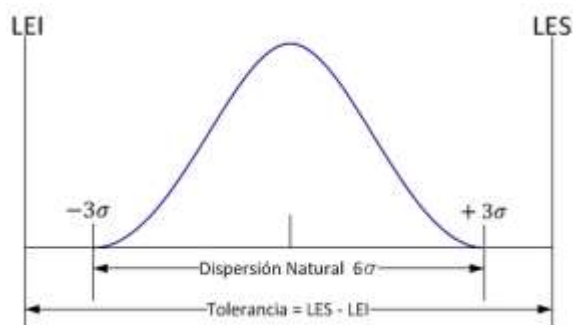


Figura 8. Ilustración del índice Cp. (López, 2019)

El Cp. compara el ancho de las especificaciones (tolerancia) con la amplitud de la variación (dispersión natural) del proceso. Si la variación del proceso es mayor que la amplitud de las especificaciones, entonces el Cp. es menor que 1, lo que sería evidencia de que no se está cumpliendo con las especificaciones. Si el Cp. es mayor que 1 es una evidencia de que el proceso es potencialmente capaz de cumplir con las especificaciones.

El Cp. se utiliza para conocer y tomar decisiones sobre el proceso dependiendo de su valor, es el tipo de proceso y la decisión que debe de tomarse. La siguiente figura 9, nos muestra la interpretación cualitativa del índice Cp.

Valor del Cp.	Clase de proceso	Decisión
<b>Cp. &gt; 2</b>	Clase mundial	Tiene calidad seis sigma
<b><math>1.33 \leq \text{Cp.} \leq 2</math></b>	1	Mas que adecuado
<b><math>1 \leq \text{Cp.} &lt; 1.33</math></b>	2	Adecuado para el trabajo, pero requiere de un control estricto conforme el Cp. se acerca a uno.
<b><math>0.67 \leq \text{Cp.} &lt; 1</math></b>	3	No adecuado para el trabajo. Un análisis del proceso es necesario. Requiere modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria
<b>Cp. &lt; 0.67</b>	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones serias.

Figura 9. Clasificación del índice Cp., de (Lopez, 2019)

Cuando se determina que el proceso no es apto para producir las unidades dentro de las especificaciones establecidas deben adoptarse diversas medidas, dentro de las que se encuentran:

- Mejorar el proceso
- Cambiar el proceso por uno mejor
- Cambiar la especificación (No recomendado)



- Rediseñar el producto
- Inspeccionar al 100% (Ineficiente)
- Obtener una desviación o permiso de aceptación (Temporal)
- Tercerizar la elaboración de la parte (En caso de ser posible)
- Dejar de hacer el producto (No recomendado)

**Índice Cpk.** El índice Cp. estima la capacidad potencial del proceso para cumplir con tolerancias, sin embargo, comúnmente se reconoce que una de sus desventajas es que no toma en cuenta el centrado del proceso. Para dar solución a esto el Cp se puede modificar para evaluar también donde se localiza la media del proceso respecto a las especificaciones. Al índice de Cp. modificado se le conoce como Índice de Capacidad Real Cpk., ver figura 10

$$Cpk = \text{Menor valor entre } Cpu \text{ y } Cpl$$
$$Cpu = \frac{LES - \mu}{3\sigma}$$
$$Cpl = \frac{\mu - LEI}{3\sigma}$$

$\mu = \text{Media de la característica de calidad}$

Figura 10. Formula Índice Cpk., de (Lopez, 2019)

El índice Cpk. va a ser igual al Cp. cuando la media del proceso se ubique en el punto medio de las especificaciones. Sí el proceso no está centrado entonces el valor del índice de Cpk será menor que el Cp.

Valores mayores a 1 de Cpk. indican que el proceso está fabricando artículos que cumplen con las especificaciones.

Valores menores a 1 de Cpk. indican que el proceso está produciendo artículos fuera de las especificaciones.

Valores de 0 o negativos de Cpk indican que la media del proceso está fuera de las especificaciones.

Por lo tanto, el Cp. mide la capacidad potencial del proceso; mientras que el Cpk. mide la capacidad real (Lopez, 2019).

#### 4.3.3 Métricas Seis Sigma

**Six Sigma.** Six Sigma surgió en el Departamento de Fabricación de Motorola, en 1979, donde millones de piezas se hacen conforme un procesamiento idéntico. Sigma es la letra griega que se utiliza para representar la desviación estándar en estadística.

Conforme a la teoría básica de la estadística; la confianza de lograr un resultado es variable, al aumentar el intervalo de confianza se reduce la probabilidad de error de manera inversamente proporcional, por lo que al trabajar en un intervalo de confianza de  $\pm 2$  desviaciones estándar, el nivel de seguridad es de más de 95.5% y el de error de menos de 4.5%, mientras que en el nivel de  $\pm 3$  desviaciones estándar, el intervalo de confianza es de más de 99.7%, por lo que el error se reduce a menos de 0.3%. La metodología que se denomina Six Sigma proporciona técnicas y herramientas para medir y mejorar la calidad de los resultados, al reducir defectos en los procesos industriales hasta lograr un nivel de 3.4 o menos defectos por millón (DPM), logrando una calidad de 99.9997%, por lo que también se ha dicho que alcanzar el Six Sigma equivale a alcanzar un nivel de “cero errores”.

Six Sigma utiliza una variedad de métodos estadísticos para establecer cuáles son las mejores prácticas en cualquier proceso. Los consultores y estadísticos estudian los procesos existentes y determinan los métodos que producen los mejores resultados. Diversas combinaciones de estos métodos son probadas sobre el supuesto de que una combinación dada puede mejorar el proceso, y debe ser puesta en ejecución hasta lograr que el 99.9997% de todas las unidades producidas sean de calidad aceptable.

Los elementos dominantes en la mejora de proceso de Six Sigma incluyen:

- La definición clara de los requisitos del cliente.
- Definir las métricas y medidas.
- Mejorar la calidad del diseño.
- Lograr que el empleado se involucre
- Demostrar cuantitativamente la mejora continua de la calidad.

Lo que se puede resumir en tres componentes:

- Fijar las metas para la satisfacción del cliente y la mejora. ¿Qué se quiere lograr?
- Determinar los sistemas que utilizarán.
- ¿En dónde y con qué se va a medir?
- Definir los datos y las mediciones.
- ¿Qué se va a medir y cómo se va a medir? (Terrez, 2007)

Six Sigma es considerado como una evolución de las teorías clásicas de la calidad y la mejora continua, como el Control Estadístico de Proceso y la Administración de la Calidad Total TQM. En este sentido Six Sigma toma algunos elementos de sus teorías precursoras y la

estructura de forma sistemática, creando un enfoque mejorado y con mayor efectividad en la consecución de resultados, cuyo éxito se basa en los siguientes aspectos:

- Se enfoca en los críticos de satisfacción del cliente (CTS)
- Se basa en la ejecución de proyectos de mejora
- Hace uso intensivo de datos y herramientas estadísticas
- Los resultados son medibles desde el punto operacional y financiero
- Su efectividad en la consecución de resultados genera mayor compromiso de la gerencia y las personas
- Los proyectos son desarrollados por personal capacitado en la metodología (cinturones negros, cinturones verdes o cinturones amarillos)
- Genera un cambio cultural orientado a la excelencia operacional.

Six Sigma está soportado en una metodología compuesta de cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, comúnmente llamada DMAIC, por sus siglas en inglés (Define, Measure, Analice, Improve, Control), y tiene como objetivo aumentar la capacidad de los procesos, de tal forma que estos generen solo 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO), con lo que los errores o fallas se hacen prácticamente imperceptibles para el cliente (Jimenes & Amaya, 2014).

#### **4.4 La metodología de Taguchi en el control estadístico de la calidad**

En general, las definiciones de calidad pueden dividirse en dos categorías. Una de ellas pone el énfasis en el cumplimiento de las especificaciones de los productos o servicios; a este grupo pertenecen las definiciones de Crosby (1979), Juran (2005) y Shewhart (1980). En la otra categoría se encuentran aquellas definiciones que basan la calidad en la satisfacción del cliente,

independientemente del cumplimiento de los estándares de calidad fijados. Deming (2000), Feigenbaum (1967) e Ishikawa (1986) son los principales defensores de esta teoría. El ingeniero japonés Genichi Taguchi planteó una visión completamente innovadora del concepto de calidad “La calidad es la pérdida que un producto causa a la sociedad después de haber sido entregado”. Esta definición es la primera que considera a la calidad como una pérdida, la que puede ser ocasionada tanto por las desviaciones en la característica de calidad como por los efectos secundarios del producto. A partir de esta manera de entender la calidad, Taguchi diseñó y aplicó un conjunto de métodos que permiten a las organizaciones mejorar sus estándares de calidad. Desarrolló una metodología propia para la mejora.

La filosofía de calidad de Taguchi se basa en tres conceptos fundamentales.

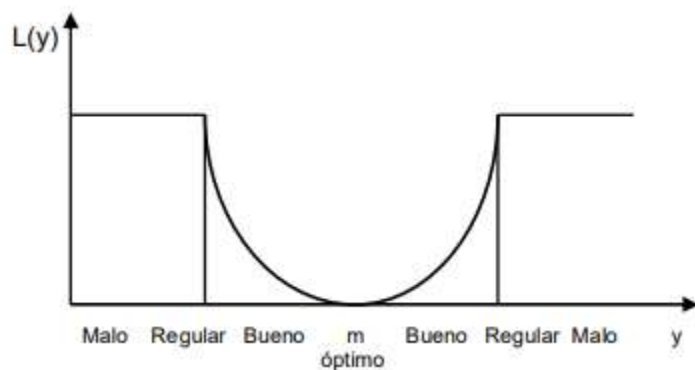
En primer lugar, considera que el diseño en la fase inicial del producto es fundamental para lograr la calidad en el resultado final.

Por otra parte, sostiene que la calidad de los productos mejora cuando se minimiza la variabilidad en torno al valor nominal u objetivo.

Por último, entiende a los costos de la no calidad como resultado del accionar de toda la organización en su conjunto y, en particular, como función de la variabilidad en los procesos. La visión de Taguchi se manifiesta en sus contribuciones más reconocidas a la mejora de la calidad, entre las que se destacan: la Función Pérdida de Calidad, la incorporación de los Arreglos Ortogonales en la implementación del Diseño de Experimentos, el índice de Señal / Ruido y el índice de Capacidad de Procesos Cpm. Constituyen herramientas valiosas del Control Estadístico de la Calidad para la identificación, medición, control y reducción de la variación de los procesos

#### 4.4.1 Función pérdida de calidad

Taguchi define a la calidad de un producto como la pérdida económica impuesta a la sociedad desde el momento en que el producto es lanzado al mercado. Estas pérdidas son función de la variación, es decir, de la desviación de la característica de calidad del producto respecto del valor nominal, por lo cual la mejora de un proceso debe orientarse no sólo a cumplir con las especificaciones, sino también a reducir su variabilidad alrededor del valor nominal  $m$ . Para el análisis de las pérdidas debidas a la calidad, Taguchi desarrolló la Función Pérdida de Calidad, la cual se representa por una función cuadrática con vértice en el valor nominal  $m$  de la característica de calidad. Permite ver que, a medida que el valor de la característica de calidad se aleja de  $m$ , la calidad decae y, por lo tanto, las pérdidas aumentan, es decir, aun estando dentro de las especificaciones, los niveles de calidad de los productos pueden variar (figura 11).



*Figura 11.* Criterio de calidad según Taguchi, de (La metodología de Taguchi en el control estadístico de la calidad, 2015)

Si se considera que  $y$  (eje horizontal) representa la medición de una característica de calidad de un producto en una escala continua y que  $L(y)$  (eje vertical) representa la pérdida en valor monetario sufrida por el consumidor por recibir el producto desviado respecto del valor

nominal  $m$ , la Función Pérdida de Calidad que Taguchi propone de manera general es: donde es una constante que se determina a partir del conocimiento de la pérdida producida en un valor y particular, Mascó (1996). El interés se centra en obtener la pérdida promedio por unidad producida como indicador del desempeño del proceso dado que, como sostiene Taguchi, cuanto mayor es la pérdida promedio por unidad producida, menor es la calidad del producto (La metodología de Taguchi en el control estadístico de la calidad, 2015).

## **5. Diagnóstico de la Situación Actual de la Empresa**

### **5.1 Generalidades de la Empresa**

#### **Reseña Histórica**

**ADIQUIM S.A.S.** Es una compañía de base tecnológica dedicada al desarrollo, producción y mercadeo de aditivos para la nutrición animal y humana desde 1993.

Las soluciones integradas que ofrece ADIQUIM son utilizadas por productores de alimentos concentrados, productores de carne, leche, huevos, panadería y productores de alimentos en general para proteger y mejorar la calidad de sus productos. ADIQUIM está presente en el mercado nacional y actualmente exporta a diferentes países de 3 continentes: Asia – Europa – América.

Contamos con diferentes certificaciones que nos permiten ser un aliado estratégico, competitivo y con una estructura sólida en temas de Inocuidad y seguridad alimentaria.

- BPM
- ISO 9001-2015
- HACCP

- Fami-QS
- Registro ICA
- BASC
- OEA

**Propósito.** Nutrir bienestar contribuyendo con más proteína, más económica y de mejor calidad.

**Pilares Estratégicos.**

- Construir relaciones significativas
- Transformar el conocimiento en soluciones efectivas
- Desarrollar tecnologías avanzadas
- Innovar para generar infinitas posibilidades

**Política de Gestión Integrada.** Aditivos y Químicos S.A.S (ADIQUIM) Está comprometida con la implementación de los sistemas de gestión mediante la identificación de los peligros y riesgos, garantizando el cumplimiento de los requisitos legales y reglamentarios, fomentando el cuidado de las personas y la seguridad de los procesos, el cuidado del medio ambiente, la inocuidad de los productos, la prevención de actividades ilícitas , corrupción soborno y demás riesgos asociados a la seguridad en la cadena de suministros y comercio internacional (Importaciones y exportaciones). Basados en la mejora continua, para así satisfacer las necesidades del cliente y partes interesadas, inspirados en **Nutrir Posibilidades Juntos.**

**Nutrir el Bienestar de las Personas Juntos.** Es la razón por la que trabajamos todos los días. Y para lograrlo asumimos los retos que nos trae el futuro, aportando a la industria y sus protagonistas, las mejores posibilidades para lograr producir más proteína, más económica y de



mejor calidad con unos recursos cada vez más limitados y a través de un emocionante proceso de innovación.

Basados en la investigación y el conocimiento podemos lograr una producción más eficiente que permita a la industria agropecuaria cumplir con su responsabilidad de nutrir saludablemente a los más de 8 mil millones de personas que seremos en tan solo una década, basados en criterios medioambientales que aseguren la sostenibilidad.

Nos apasiona la nutrición humana, animal y agrícola. Hemos entendido el gran impacto que un logro mínimo en términos de productividad y eficiencia nutricional podría tener sobre el bienestar de millones de personas (PREMEXCORP, 2020).

La Estructura Organizacional de Aditivos y Químicos S.A.S, se puede observar en la figura 12.

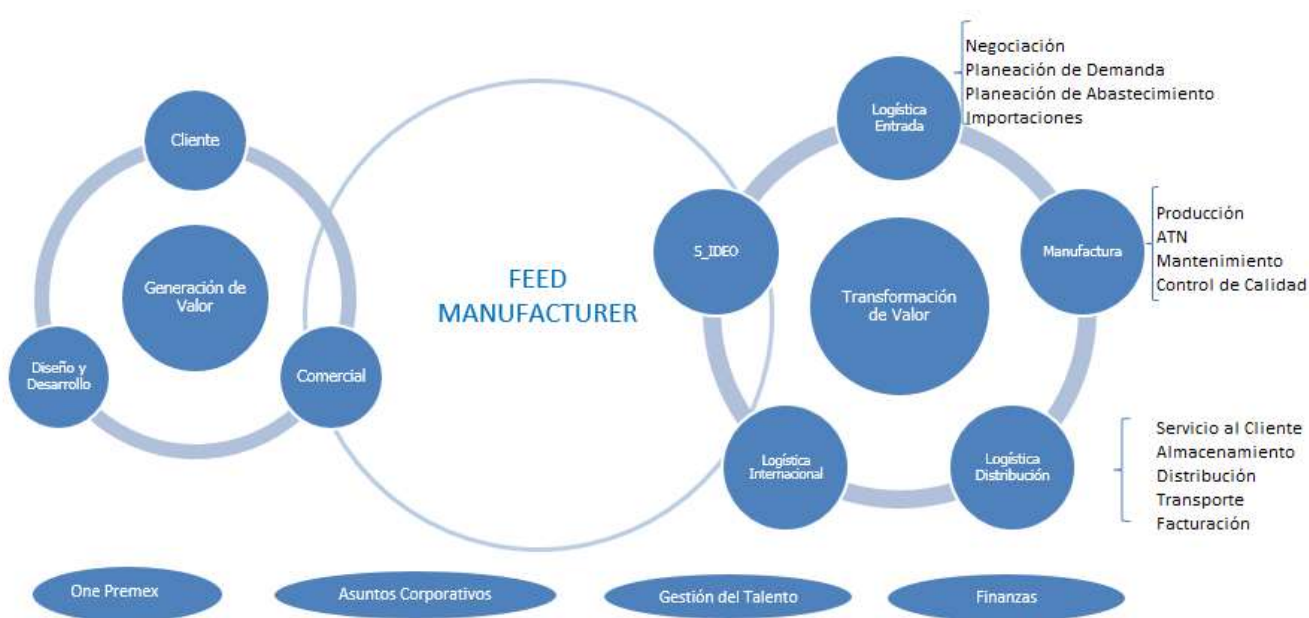
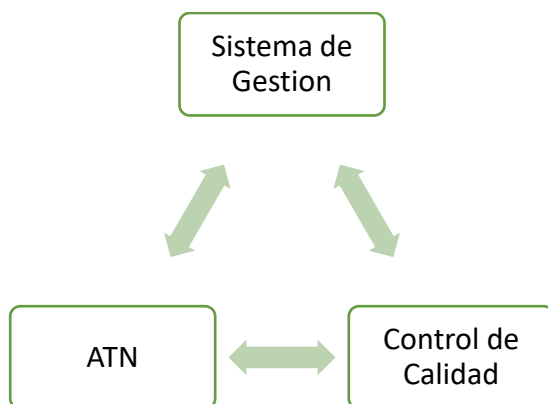


Figura 12. Organigrama de la compañía de ADIQUIM S.A.S

## 5.2 Estado Actual de los Procesos del Área de Producción

### 5.2.1 S-IDEO

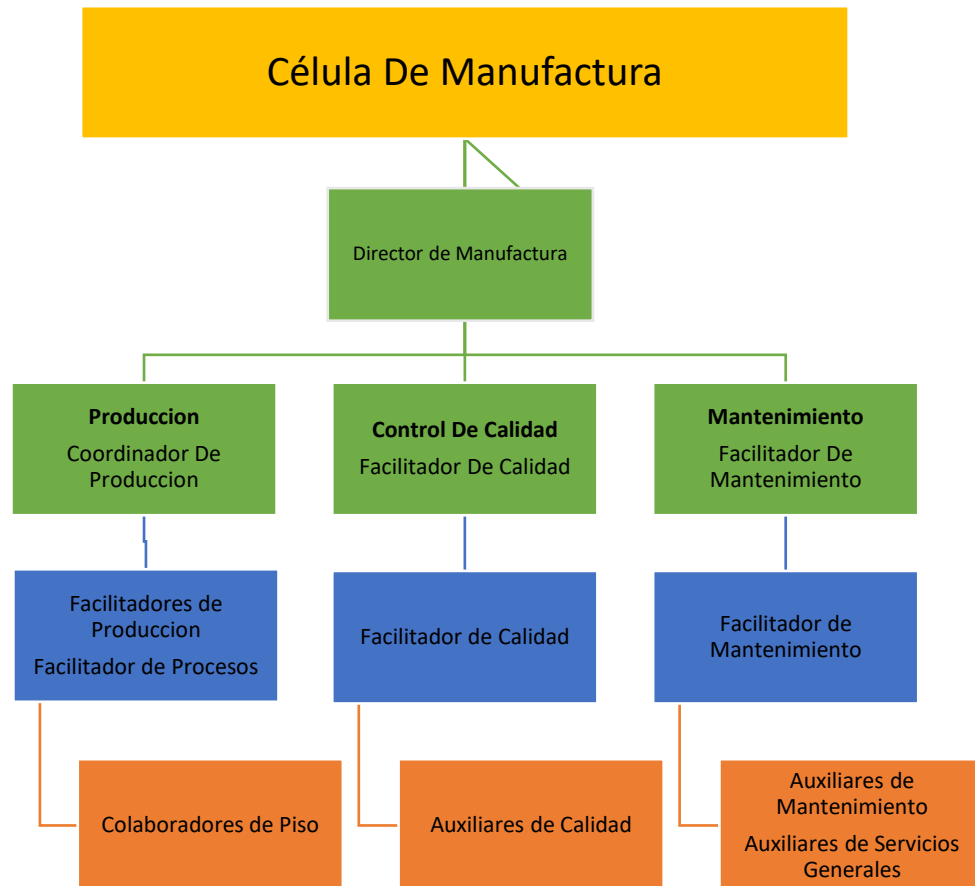
Está integrado por las áreas encargadas del sostenimiento en temas de inocuidad, calidad y seguridad alimentaria, en los temas relacionados normatividad alimentaria y reglamentación nacional e internacional (figura 13).



*Figura 13. Célula de Gestión, de ADIQUIM S.A.S.*

### 5.2.2 Manufactura

Es el área encargada de los temas de transformación (figura 14); conversión de MP a productos terminados, tiene 3 áreas destinadas para la ejecución de este propósito las cuales trabajan bajo una misma estructura y tienen como principal objetivo: “Premiar el flujo sin castigar la calidad”.



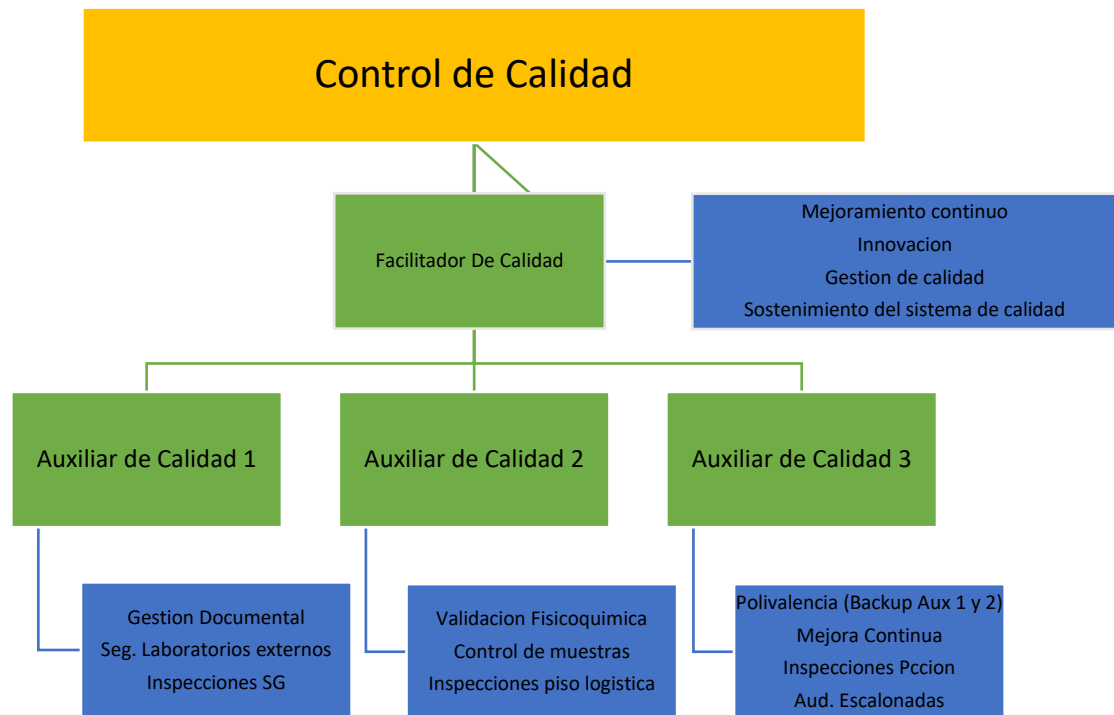
*Figura 14.* Célula de Manufactura, de ADIQUIM S.A.S.

### 5.2.3 Equipo de Control de Calidad

El equipo de control de calidad (figura 15) está compuesto por 4 personas, 1 facilitador de calidad y 3 auxiliares de calidad, los cuales tienen distribuidas sus funciones de manera que se apoyen las diferentes áreas de influencia y control:

- Producción
- Logística de entrada
- Logística de salida

- Sistema de gestión
- Plan Haccp



*Figura 15.* Equipo de control de calidad, de ADIQUIM S.A.S.

#### 5.2.4 Proceso Calidad

En la figura 16 se observa el proceso que se lleva en el área de calidad.

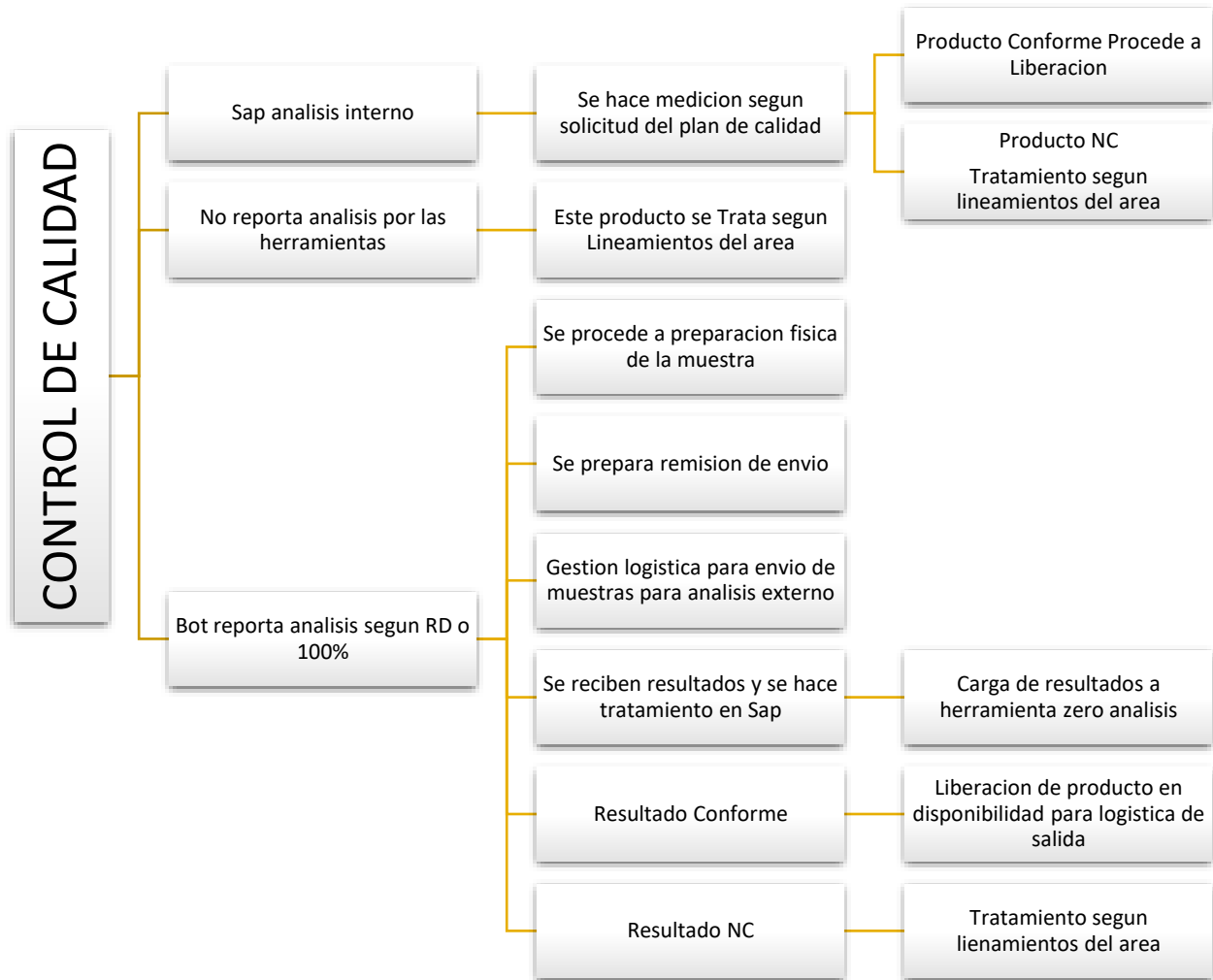


Figura 16. Flujograma aprobación orgánicos, de ADIQUIM S.A.S.

## **6. Implementación de la Herramienta para el Análisis de la Capacidad de los Proceso**

Iniciamos este proyecto basados en la necesidad de ayudar a mejorar el flujo de los productos elaborados sean estos PT o PI, también en la liberación de MP para su uso en fabricación. Actualmente tenemos un Análisis al 100% de las fabricaciones y recepciones de:

- Orgánicos
- Prokeles
- Sulfatos (Bases en general)

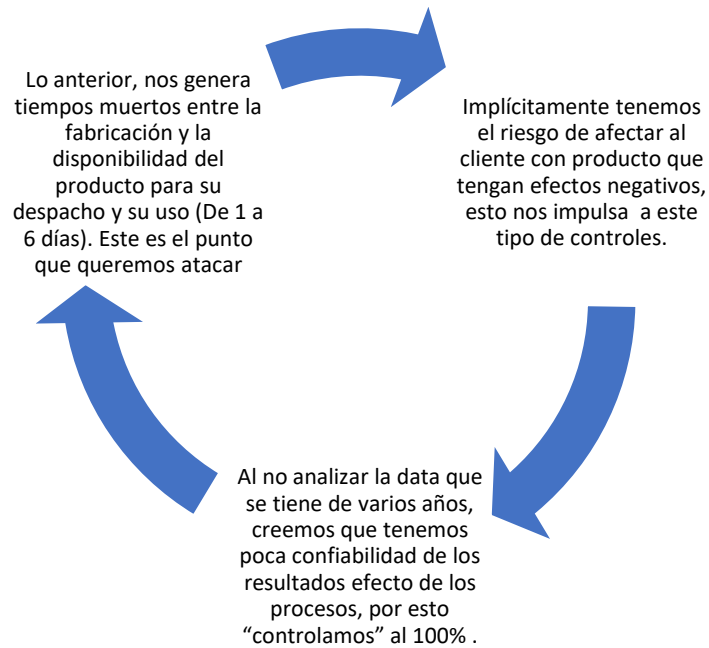
Actualmente nuestro proceso de liberación de:

- Sulfatos – Óxidos (Bases)
- Orgánicos
- Prokeles

Es un proceso de control y no de verificación, el cual requiere análisis al 100% de los productos que fabricamos o recibimos desde abastecimiento.

### **6.1 Porqué Queremos Mejorar**

En la figura 17 se describe el porqué de la necesidad de mejorar.



*Figura 17.* Porqué de la herramienta, elaboración propia

## 6.2 Plantilla de identificación de proyectos

En esta se identifica la necesidad explícita derivada del proceso de liberación de la línea Bases-Orgánicos-Prokeles, ver tabla 1.

Tabla 1.

## Plantilla identificación de proyectos

Carta del Proyecto		
Título:	Champion:	
Zero Análisis	Control de calidad	
Brecha del Negocio:	Ahorros:	
	Duros:	Suaves:
	Inventario	Costo de los análisis
Análisis al 100% de las fabricaciones necesario para la liberación del producto (PT-PI)	Material de empaque	Reformulación de Prokeles y orgánicos
	Mano de obra auxiliares cal.	
Cliente	Cronograma:	
Interno	Definición	
Logística de distribución	Mapeo	
Manufactura	Medición	
Externo	Análisis	
Cliente Final	Incremento	
	Control	
Métricos:	Alcance del Proyecto	
Primarios:		Fabricación de orgánicos en torres
DPMO (defecto por millón de oportunidades)	Inicio del proceso	
Secundario:	Fin del Proceso	Empaque de Prokeles (Prod. Term.)



Volumen diario de muestras para análisis

Declaración del Problema

Tiempos muertos entre la fabricación y la disponibilidad del producto para su despacho y su uso. La poca confiabilidad de los resultados efecto de los procesos nos pide controlar al 100%.

Dentro del Alcance

Alpha D3 - Orgánicos USP

Fuera del Alcance

El riesgo de afectar al cliente con producto que tengan efectos negativos nos impulsa a este tipo de controles.

---

*Nota.* Elaboración propia

### 6.3 Justificación de la herramienta en 5W + 1 H

En la figura 18, se describe la justificación de la herramienta en 5W + 1H

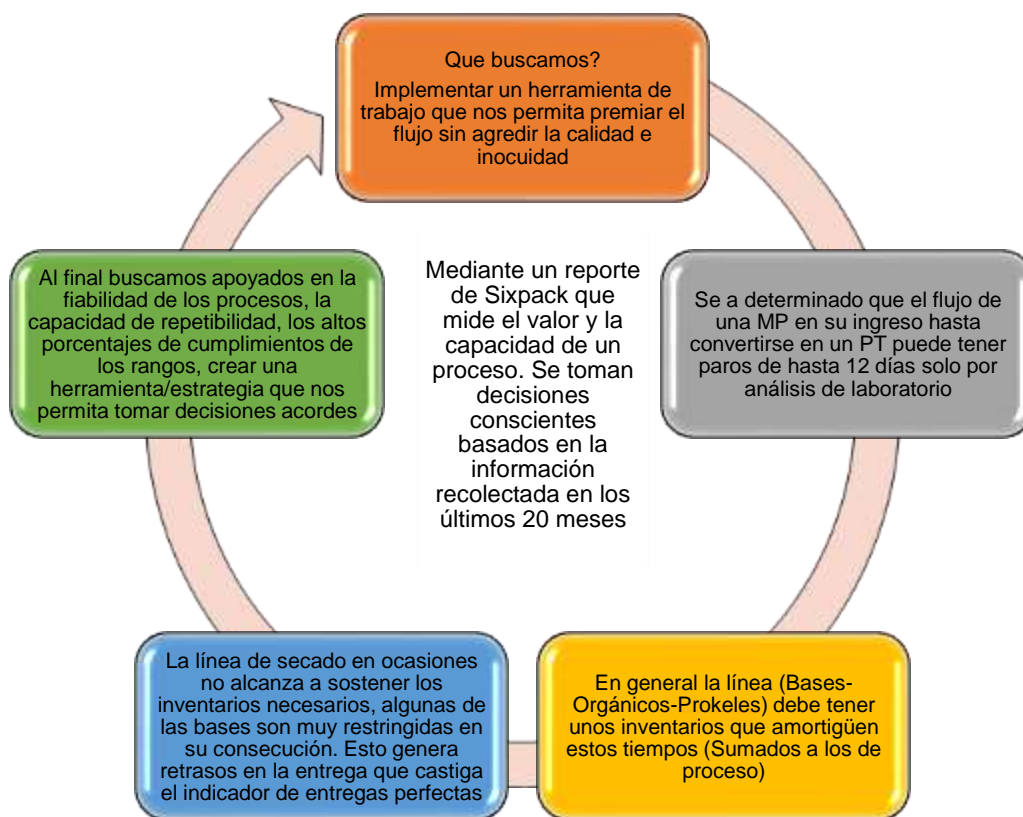


Figura 18. 5W+1 H Herramienta. Imagen Propia

Iniciamos con la validación de los de los análisis realizados a productos durante el año 2019.

Como rangos de conformidad de los análisis para ingreso al programa de Zero Análisis se proponen los siguientes, ver tabla 2.

Tabla 2.

## Rangos tasa de conformidad

Tasa de Conformidad	90% y 94,9%	RD 5/10
	95% y 100%	RD 3/10
	< 89,9%	RD 10/10

*Nota.* RD= Regla de Dinamización, elaboración propia

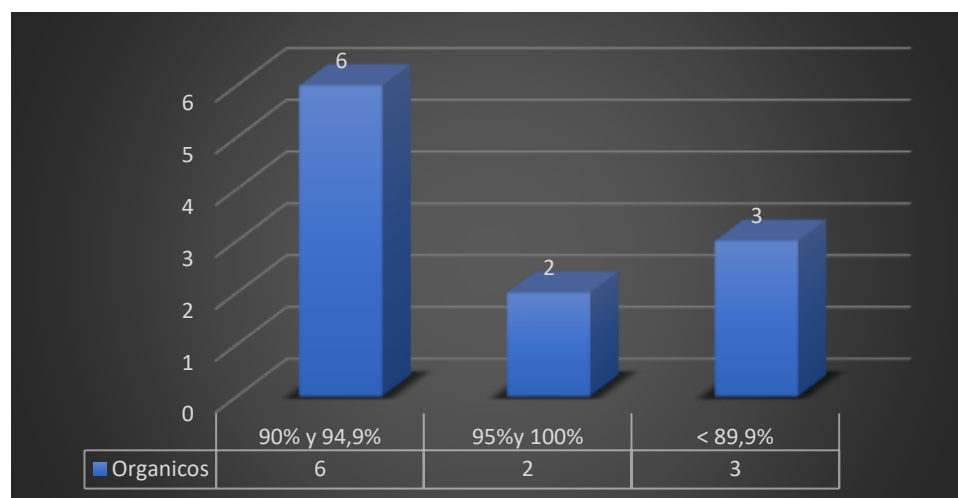
Basados en la tabla 2, y analizando las 32 referencias de productos, logramos encontrar que:

El 65,6% de las referencias tienen un cumplimiento de su resultado final vs los rangos estipulados entre el 90% y el 94,9%. Debido a esto se propone un análisis de 5 lotes cada 10 fabricaciones (RD5/10)

El 21,9% de las referencias tienen un cumplimiento de su resultado final vs los rangos estipulados entre el 95% y el 100%. Debido a esto se propone un análisis de 3 lotes cada 10 fabricaciones (RD3/10)

El 12,5% es < al 89,9%, por lo tanto, estas referencias continúan con una tasa de análisis al 100%

En la gráfica 1 se puede observar los rangos de cumplimiento de los minerales orgánicos analizados, y en la tabla 3 se describe la tasa de conformidad de cada uno de las 11 referencias evaluadas.



Gráfica 1. Rango de cumplimiento en los minerales orgánicos analizados, elaboración propia

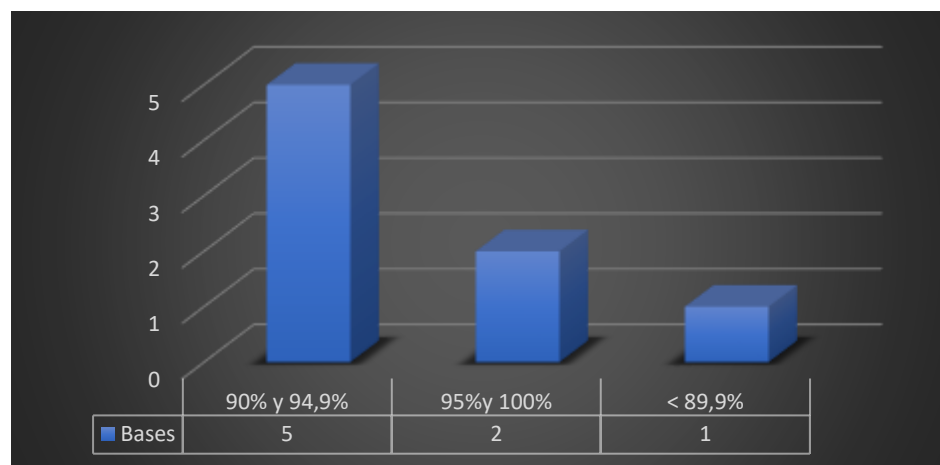
Tabla 3.

*Tasa de conformidad según los 11 minerales orgánicos evaluados*

Orgánicos Texto Breve De Material	Tasa Conformidad
14.4% Hierro Orgánico USP X 25 KG	100,00%
7% Magnesio Orgánico X 25 KG	100,00%
30% ZINC Orgánico FEED X 25 KG	97,96%
Biokel Selenio 3% X 10 KG	97,73%
3% Selenio Orgánico X 25 KG	97,12%
ZINC Orgánico 2000 X 25 KG	96,60%
Hierro Orgánico 2000	93,94%
Manganeso Orgánico 2000 X 25 KG	91,11%
18% ZINC Orgánico USP X 25 KG	85,71%
11.2% Cromo Orgánico X 25 KG	70,00%
Cobalto Orgánico X 25 KG	0,00%

Nota. Elaboración propia

En la gráfica 2 se puede observar los rangos de cumplimiento de las bases analizadas y en la tabla 4 se describe la tasa de conformidad de cada uno de las 8 referencias evaluadas.



Gráfica 2. Rango de cumplimiento en las bases analizadas, elaboración propia

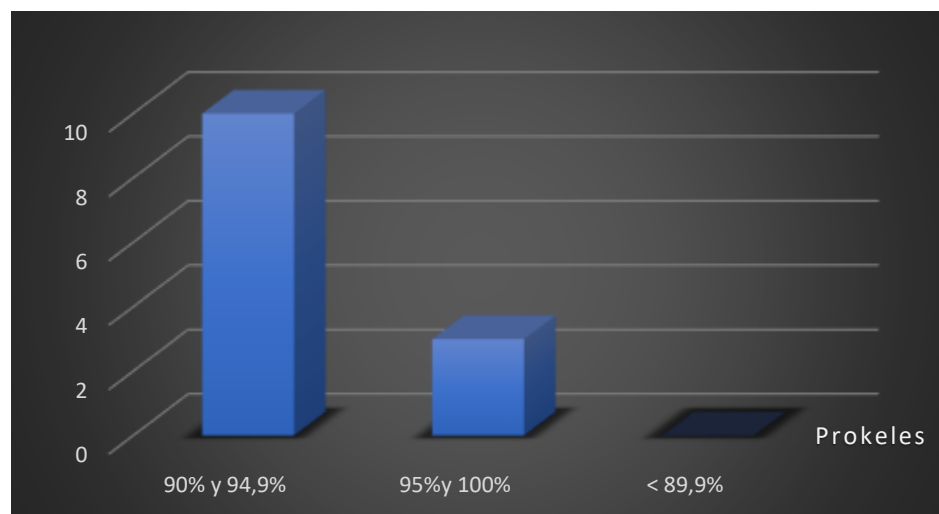
Tabla 4.

*Tasa de conformidad según las 8 bases evaluadas.*

Bases	
Texto breve de material	Tasa Conformidad
30% Sulf. Ferroso	100,00%
Ox. Zinc 80%	100,00%
Selenito de sodio	100,00%
Sulfato de magnesio	100,00%
25% Sulfato de cobre	95,65%
Sulfato de manganeso Polvo 32%	94,12%
Sulfato de zinc 35%	94,12%
Ox. Zinc 80% (Sello Bco.)	60,00%

Nota. Elaboración propia

En la gráfica 3 se puede observar los rangos de cumplimiento de los Prokeles analizados y en la tabla 5 se describe la tasa de conformidad de cada una de las 13 referencias evaluadas.



Gráfica 3. Rango de cumplimiento en los Prokeles analizados, elaboración propia

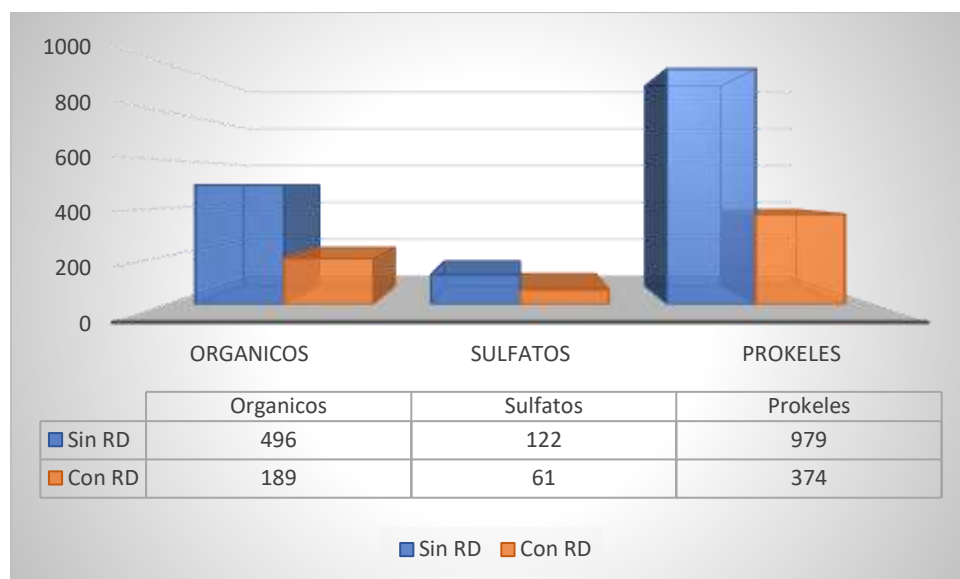
Tabla 5.

*Tasa de conformidad según los 13 Prokeles evaluados*

Prokeles Texto breve de material	Tasa Conformidad
10% Prokel Manganeseo	100,00%
10% Prokel ZINC x 25 KG	100,00%
23% Prokel ZINC x 10 KG	100,00%
5% Prokel Magnesio x 15 KG	100,00%
22% Prokel ZINC x 20 KG	99,41%
Prokel Selenio 1%	99,31%
10% Prokel Hierro x 25 KG	96,97%
10% Prokel Cobre x 25 KG	95,87%
20% Prokel Manganeseo x 20 KG	95,83%
18% Prokel Hierro x 20 KG	95,31%
Prokel Cobalto 2.5% x 25 KG	93,10%
Prokel zinc x 10 Kg (10%)	92,86%
Prokel Cromo 1% x 25 KG	92,31%

*Nota.* Elaboración propia

Validando el número de envíos, sumadas cada una de las familias, pasaríamos de 1.579 análisis a 646 aplicando las nuevas reglas de dinamización (RD) propuestas (gráfica 4), lo que significaría una reducción del 59,6% (tabla 6)



*Gráfica 4.* Comparación número de análisis según contenga o no regla de dinamización (RD) dada por la herramienta, elaboración propia.

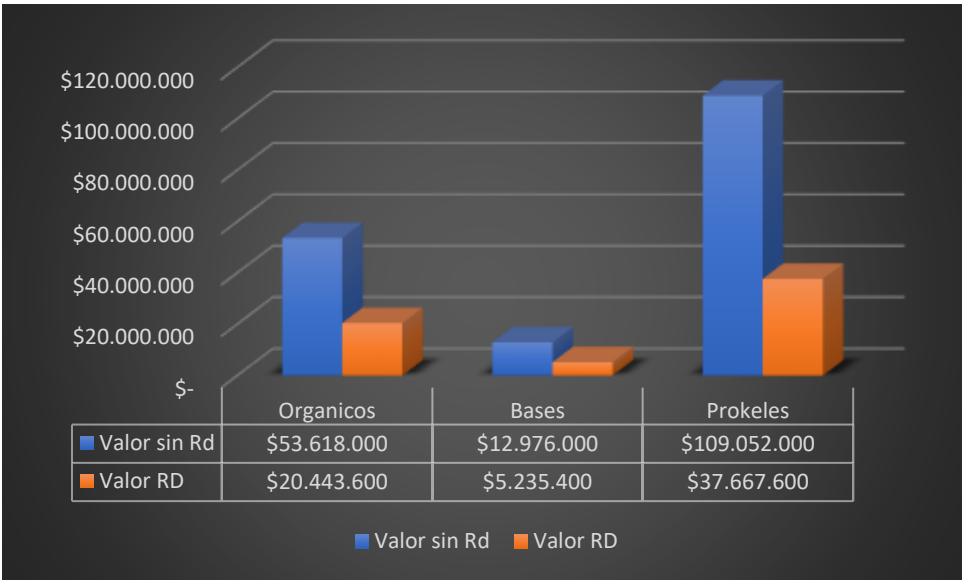
Tabla 6.

*Porcentaje de disminución en los análisis aplicando la herramienta*

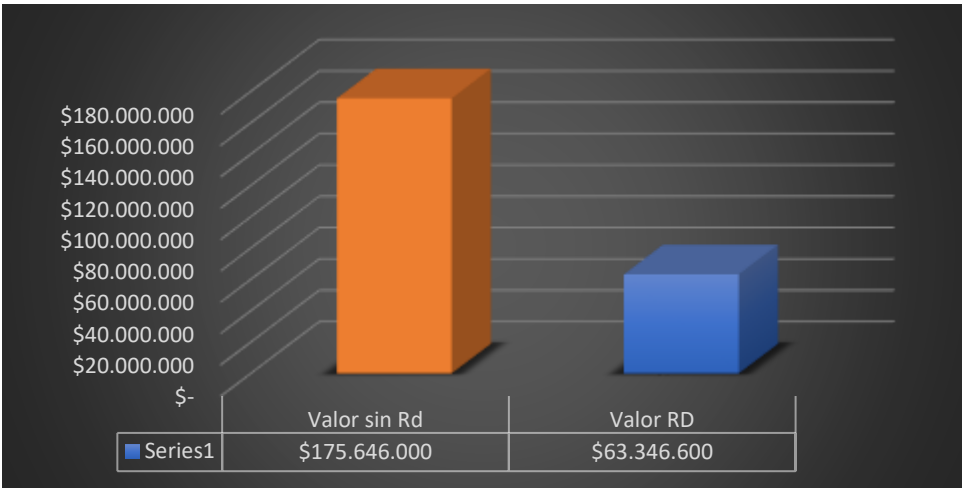
Grupo	Sin RD	Con RD	% Rebaja
Orgánicos	496	189	61,60%
Sulfatos	122	61	50,41%
Prokeles	979	374	61,83%
Totales	1.597	646	59,6%

*Nota.* RD= Regla de Dinamización, elaboración propia

Valorando el valor de los análisis pasaríamos de un valor de \$175.646.000 a un valor aplicando las nuevas reglas de dinamización propuestas de \$63.346.600 (gráfica 5 y 6). Lo que sería un ahorro de \$ 112.299.400 un 63,9% de reducción en los costos de análisis de laboratorio.



Gráfica 5. Comparación costos de los análisis por grupo según las reglas de dinamización (RD) dadas en la herramienta, elaboración propia.



Gráfica 6. Comparación costos generales de los análisis según las reglas de dinamización (RD) dadas en la herramienta, elaboración propia.



## 7. Análisis de Resultados

### 7.1 Herramienta de análisis de información Zero Análisis

Esta herramienta utiliza la tecnología Power Bi la cual nos permite recopilar datos y basados en estos generar un Dashwork o Dashboard con la información de cada una de las referencias a las cuales se les aplica el proceso de control estadístico, generando los siguientes datos de cada una de estas:

Índice Cpk -Grafica Arima -Limites (ver figura 19), Grafica de densidad (ver figura 20), Capacidad del proceso (UCL/LCL) -Centro (Media de los datos) -Desviación Estándar -Numero de datos por fuera de los limites (ver figura 21), Dashwork (ver figura 22), y además la herramienta permite seleccionar rangos y fechas a evaluar (ver figura 23).

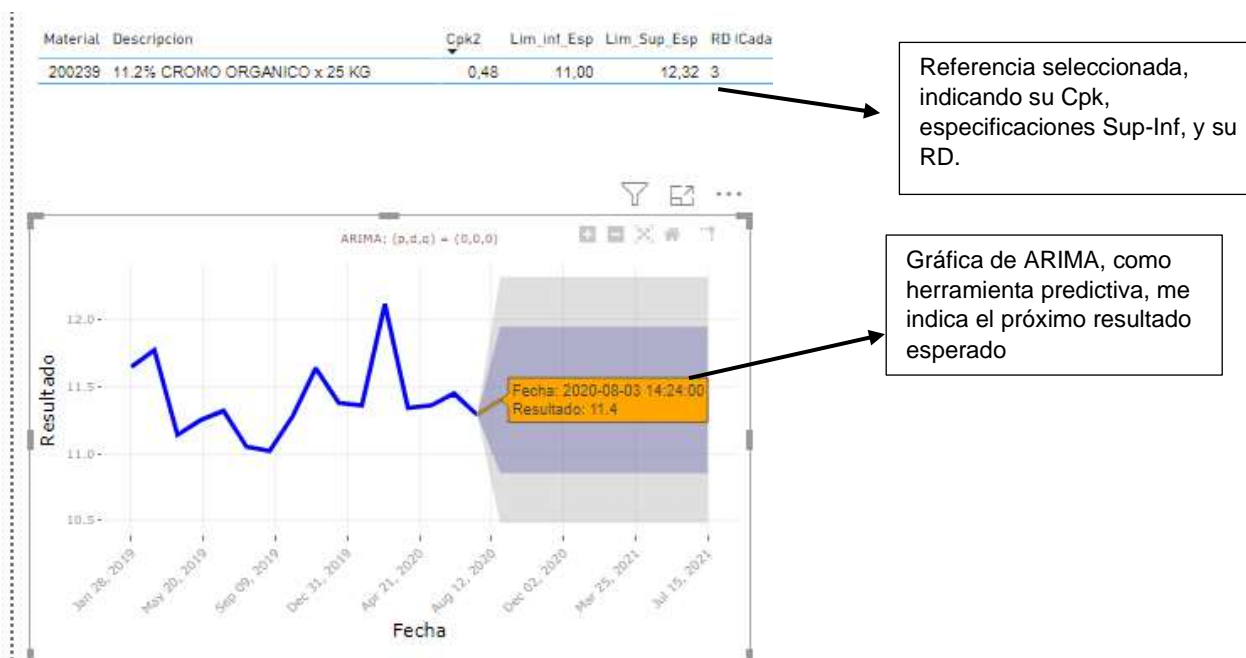


Figura 19. Índice Cpk -Grafica Arima –Limites, elaboración propia

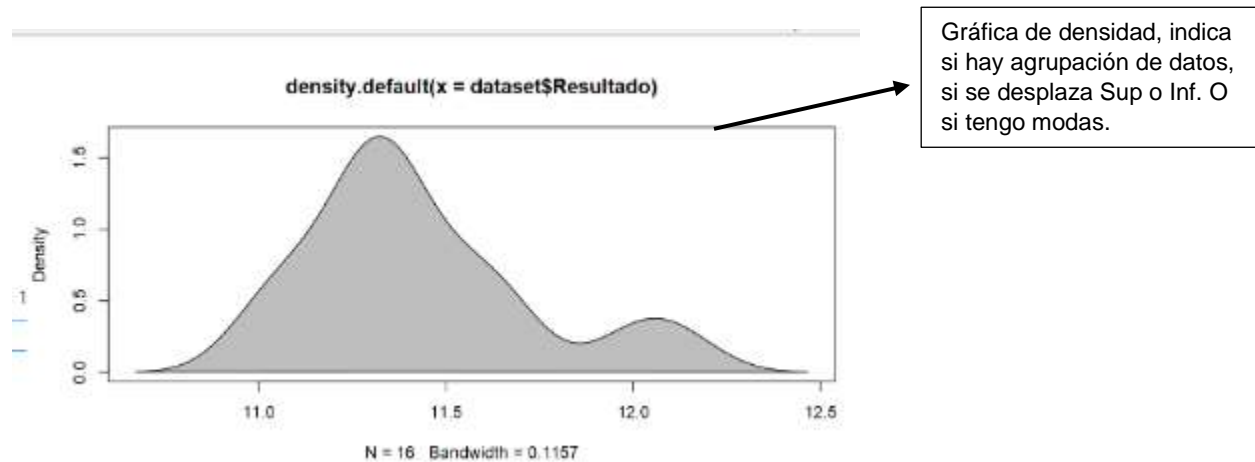


Figura 20. Grafica de densidad, elaboración propia

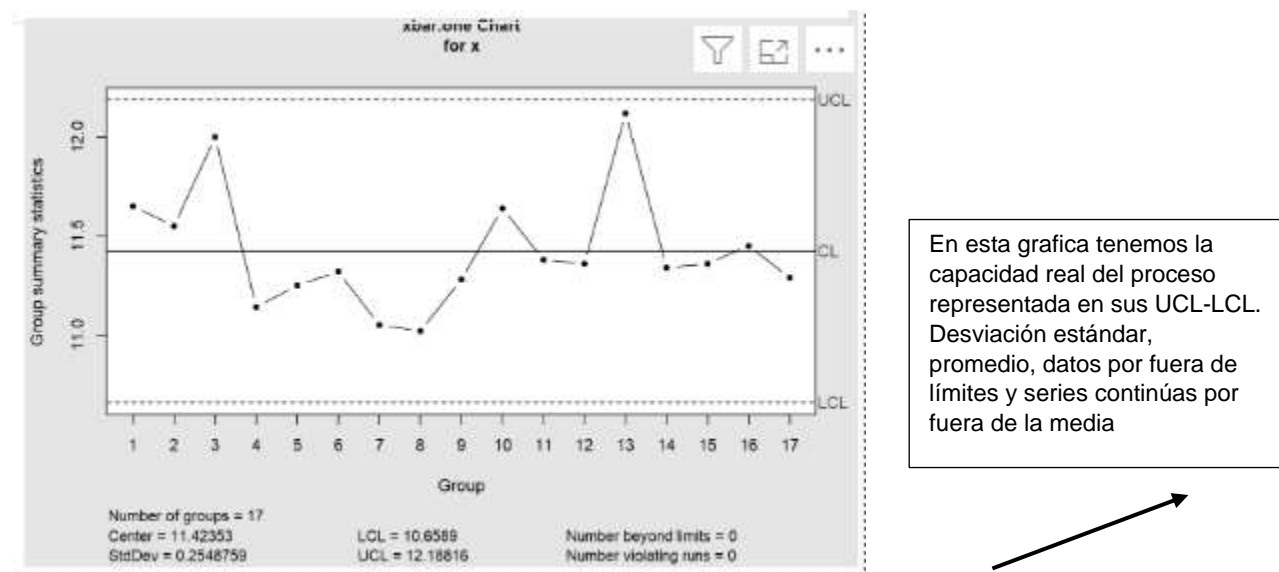


Figura 21. Capacidad del proceso (UCL/LCL) -Centro (Media de los datos) -Desviación Estándar -Numero de datos por fuera de los límites, elaboración propia

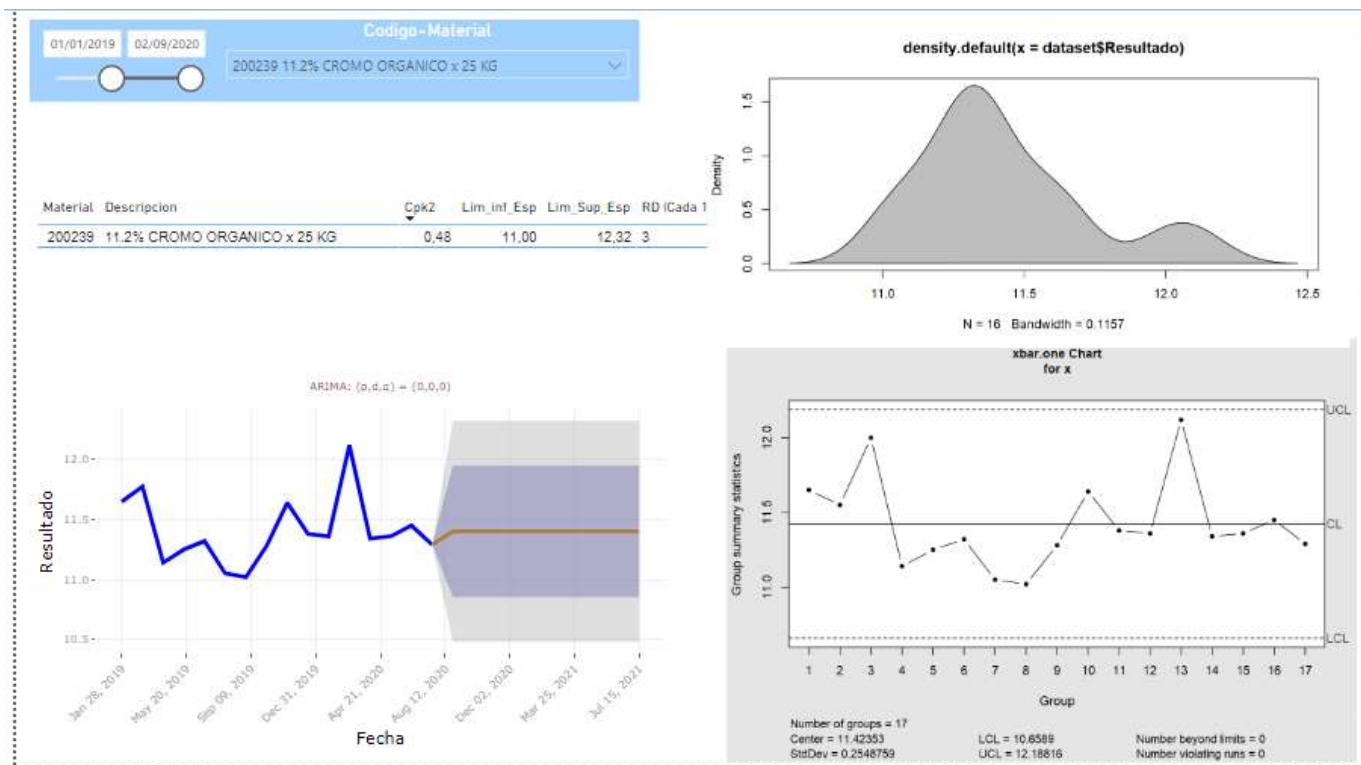


Figura 22. Dashboard herramienta Zero Análisis, elaboración propia

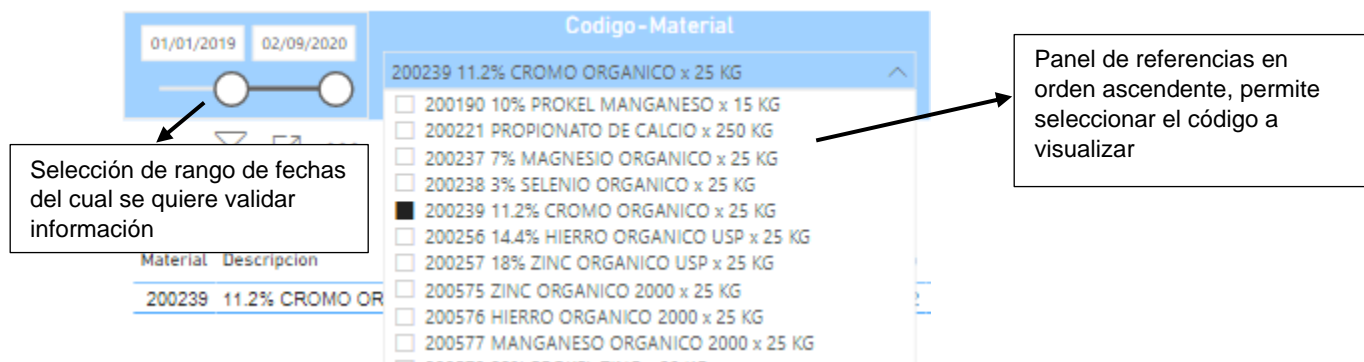
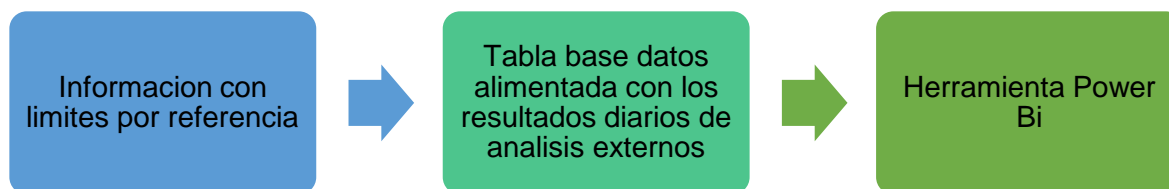


Figura 23. Selección rangos y fechas, elaboración propia

Este es el tablero principal, ver figura 24, con los resultados que se genera con la herramienta de Zero análisis.



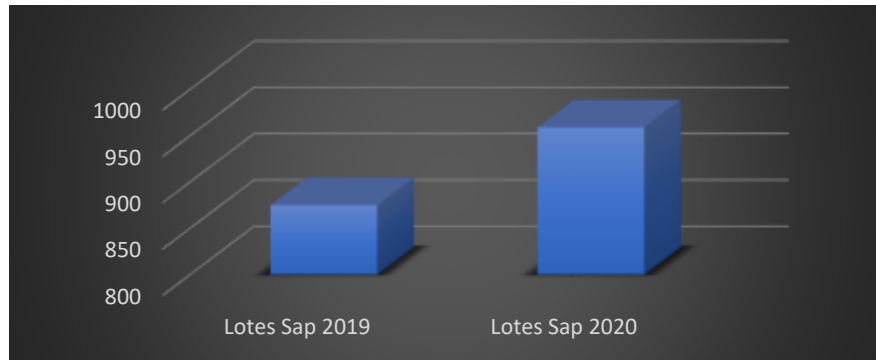
*Figura 24.* Tablero de Resultados que se generan con la herramienta Zero Análisis, elaboración propia.

## 7.2 Resultados de análisis de data

Como rango de comparación de análisis vamos a tomar las fechas del 01 de Enero al 31 de Agosto de cada uno de los años (2019 vs 2020). Basados en estas fechas pudimos recolectar la siguiente información:

En este periodo de tiempo hubo un aumento de lotes manufacturados de un 8,8%, basado en los lotes reportados en el sistema Sap, ver gráfica7.

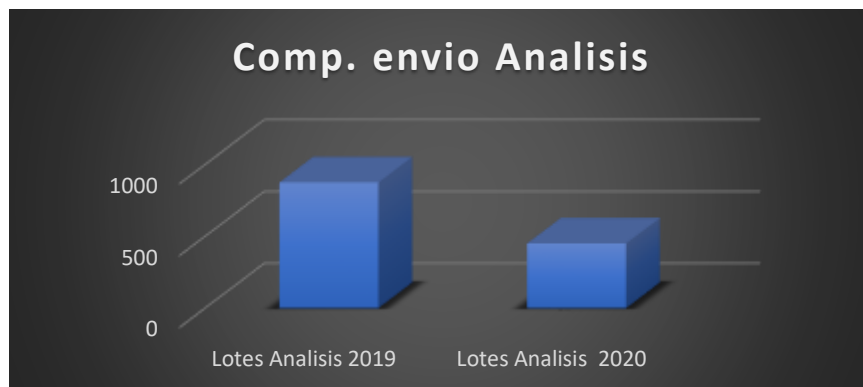
Lotes Sap 2019	875
Lotes Sap 2020	959



Gráfica 7. Comparativa lotes fabricados 2019 vs 2020, elaboración propia.

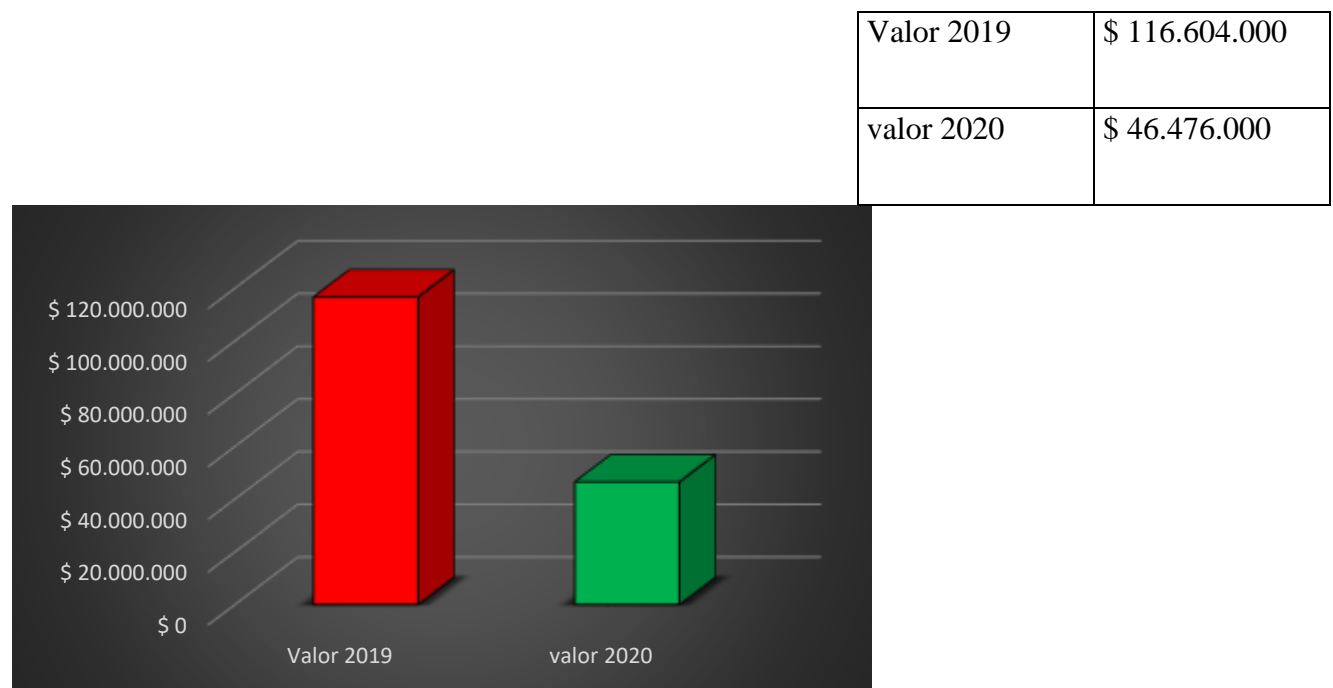
Con la aplicación de las reglas de dinamización propuestas (derivadas del análisis de datos) se observa una disminución de los envíos a análisis por principio activo, ver gráfica 8.

Lotes Análisis 2019	875
Lotes Análisis 2020	450



Gráfica 8. Comparativa envío análisis 2019 vs 2020, elaboración propia

Esto en dinero representa un ahorro de \$70.128.000 (gráfica 9)



*Gráfica 9. Comparativa valor análisis 2019 vs 2020, elaboración propia*

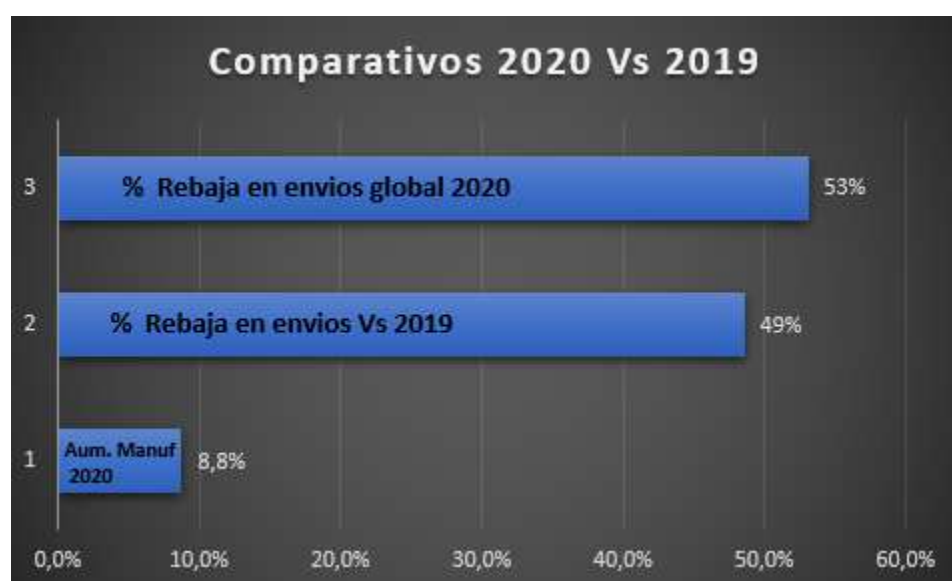
Se deben resaltar 3 cifras, que ayudaran a entender la siguiente serie de graficas informativas:

Al 31 de agosto de 2020, comparando el mismo periodo del año 2019 se tiene un aumento del 8,8% en los lotes manufacturados en estas referencias

Al 31 de agosto de 2020, comparando el mismo periodo del año 2019 se tiene un % de rebaja en envíos a análisis externos del 49%

Al 31 de agosto de 2020, se dejaron de enviar a análisis externos un 53% de los lotes manufacturados.

Estos resultados se muestran en la gráfica 10 para complementar la información descrita arriba y tener una mejor comprensión de los datos.



Gráfica 10. Varios comparativos 2019 vs 2020 Imagen propia

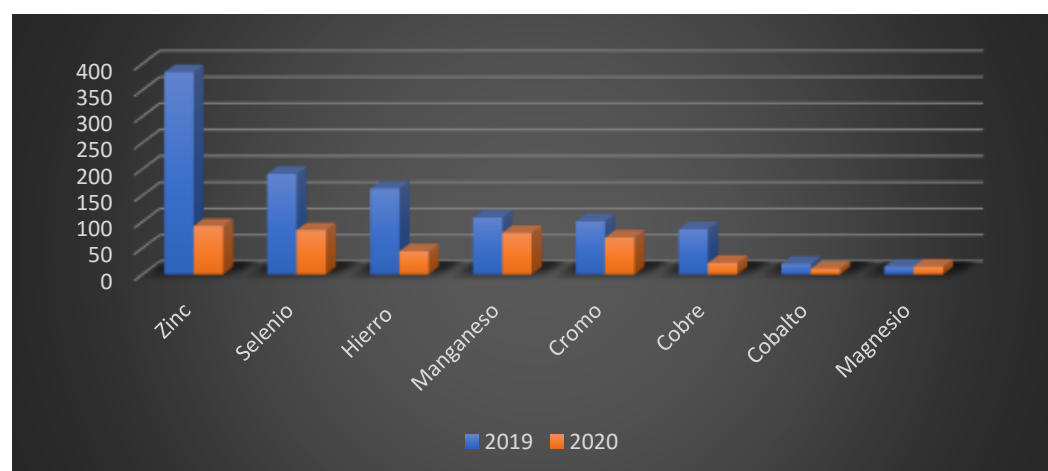
En las tablas 7, 8 y en las gráficas 11, 12, 13, se entrega la información comparativa de cada una de las familias en los periodos estipulados para los años 2019 vs 2020, según envíos, análisis y ahorro en costos que ha sido posible por la utilización correcta de la información tomada de la herramienta.

Tabla 7.

*Porcentaje de reducción en envíos*

Familia	2019	2020	% Reducción
Zinc	384	92	76%
Selenio	191	84	56%
Hierro	163	44	73%
Manganeso	108	79	27%
Cromo	101	70	31%
Cobre	86	22	74%
Cobalto	20	11	45%
Magnesio	15	15	0%

*Nota.* Elaboración propia



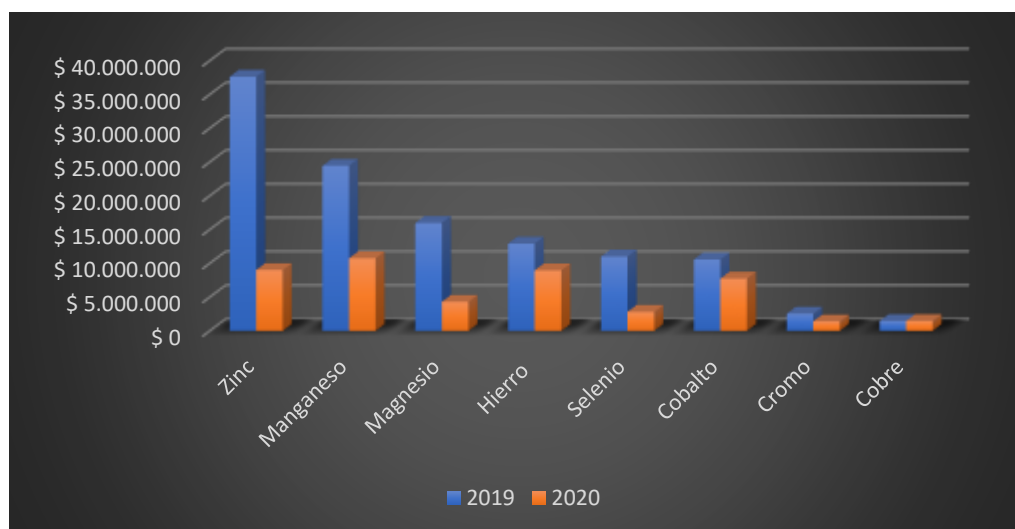
*Gráfica 11.* Comparativo reducción en el número de análisis por familia 2019 vs 2020, elaboración propia



*Porcentaje de reducción en el valor de los análisis comparando el año 2019 vs 2020 por familia*

Familia	2019	2020	% Reducción
Zinc	\$ 37.632.000	\$ 9.016.000	76%
Manganeso	\$ 24.448.000	\$ 10.752.000	56%
Magnesio	\$ 15.974.000	\$ 4.312.000	73%
Hierro	\$ 12.928.000	\$ 8.960.000	31%
Selenio	\$ 11.008.000	\$ 2.816.000	74%
Cobalto	\$ 10.584.000	\$ 7.742.000	27%
Cromo	\$ 2.560.000	\$ 1.408.000	45%
Cobre	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000	0%

*Nota.* Elaboración propia



*Gráfica 12.* Comparativo valor análisis por familia según 2019 vs 2020, elaboración propia



*Gráfica 13.* Ahorros generados en el año 2020 con la utilización de la herramienta, elaboración propia

## 8. Acciones de Mejora

Con de la información derivada en la herramienta de análisis de datos, se plantea las siguientes acciones de mejora.

### 8.1 Caso Manganeso Orgánico fuera de rango

Se detecta una secuencia de datos por fuera de rango en el producto manganeso orgánico, procedemos a realizar informe de ensayos según metodología normatizada por la compañía.

#### **Objetivo.**

Validar condiciones de formulación y materia prima en el manganeso orgánico 2.000.

Debido a problemas de principio activo fuera de rango en los últimos meses

#### **Procedimiento.**

- Verificación de información de formula del producto

- Validación si se han presentado cambios en la formula durante los últimos tiempos
- Validación de condiciones según el comportamiento del sulfato

### **Resultados.**

Se realiza revisión del proceso y se evidencia lo siguiente:

- La fórmula no evidencia cambios en los % de cada uno de los componentes.
- La materia prima tiene un cumplimiento del 100%, ningún lote llega por fuera de rango.
- Evidenciamos en la materia prima una seguidilla de 5 reportes con el mismo resultado de principio, lo cual realmente sería muy poco probable, sobre esto se enviará solicitud de información al proveedor.
- Los resultados de análisis a la MP en laboratorio Premex son conformes.
- Al revisar la fórmula sobre la cual se seca el orgánico se encuentra la siguiente novedad, la formulación del orgánico no está compensada contra los rangos del sulfato de manganeso.
- El sulfato de manganeso tiene un rango entre 30% y 33% de contenido. Se realizan cálculos sobre estos valores, lo cual nos arroja lo siguiente:

Tengamos en cuenta que el manganeso orgánico nos pide un rango de principio activo entre 22,62 y 24,64.

Mínimo Sulfato (30%): Resultado orgánico fuera de rango 20,81 (ver tabla 9).

Tabla 9.

*Descripción cálculo realizado del sulfato con 30% de contenido*

Manganeso orgánico	Min Seg Plan
Sulfato de Manganeso	30,00
Total, orgánico Formula	368,53
Orgánico Contenido	11055,9
Dividido 100	110,559
Líquidos	6,49
Pre mezcla	156,18
Total, Formula	531,2
Resultado teórico	20,81306476

*Nota.* Elaboración propia

Máximo Sulfato (33%): Resultado orgánico en el rango 22,89 (ver tabla 10).

Tabla 10.

*Descripción cálculo realizado del sulfato con 33% de contenido*

Manganeso orgánico	Max Seg Plan
Sulfato de Manganeso	33,0
Total, orgánico Formula	368,53
Orgánico Contenido	12161,49
Dividido 100	121,6149
Líquidos	6,49
Pre mezcla	156,18
Total, Formula	531,2
Resultado teórico	22,89437123

*Nota.* Elaboración propia

Mínimo Necesario Sulfato (32,61%) Resultado orgánico en el rango 22,62 (ver tabla 11).

Tabla 11.

*Cálculo del minino necesario del sulfato con 32,61% de contenido*

Manganeso Orgánico	Min Necesario.
Manganeso orgánico	32,61
Sulfato de Manganeso	368,53
Total, orgánico Formula	12017,7633
Orgánico Contenido	120,177633
Dividido 100	6,49
Líquidos	156,18
Pre mezcla	531,2
Total, Formula	22,62380139

*Nota.* Elaboración propia

Media Sulfato 2019-2020 (22,33%): Resultado orgánico fuera de rango 22,33 (ver tabla 12).

Tabla 12.

*Cálculo del sulfato según medida 2019-2020*

Manganeso orgánico	Según media
Sulfato de Manganeso	32,19
Total, orgánico Formula	368,53
Orgánico Contenido	11862,9807
Dividido 100	118,629807
Líquidos	6,49
Pre mezcla	156,18
Total, Formula	531,2
Manganeso orgánico	22,33241849

*Nota.* Elaboración propia

Resultado Máximo sulfato (32,72 %): Resultado orgánico en el rango 22,70 (tabla 13)

Tabla 23

*Cálculo del máximo de sulfato con 32,72% de contenido*

Manganeso Orgánico	Según Max
Manganeso orgánico	32,72
Sulfato de Manganeso	368,53
Total, orgánico Formula	12058,3016
Orgánico Contenido	120,583016
Dividido 100	6,49
Líquidos	156,18
Pre mezcla	531,2
Total, Formula	22,70011596

*Nota.* Elaboración propia

Resultado Mínimo sulfato (32,72 %): Resultado orgánico fuera de rango 21,13 (tabla 14).

Tabla 14.

*Cálculo del mínimo de sulfato con 32,72% de contenido*

Manganeso orgánico	Según Min
Manganeso orgánico	30,47
Sulfato de Manganeso	368,53
Total, orgánico Formula	11229,1091
Orgánico Contenido	112,291091
Dividido 100	6,49
Líquidos	156,18
Pre mezcla	531,2
Total, Formula	21,13913611

*Nota.* Elaboración propia

Las gráficas del producto magnesio orgánico (figura 25) nos muestran que la capacidad del proceso nos indica que no tiene capacidad de replicar los resultados que permitan tener un producto en los rangos solicitados y que tiene tendencia más al LIC que al LSC

- LSC: 21.81
- LSC: 24.12

La Grafica Arima (figura 25) indica que estaremos esperando resultados por el rango de 22,14 que estarían por fuera de los límites establecidos.

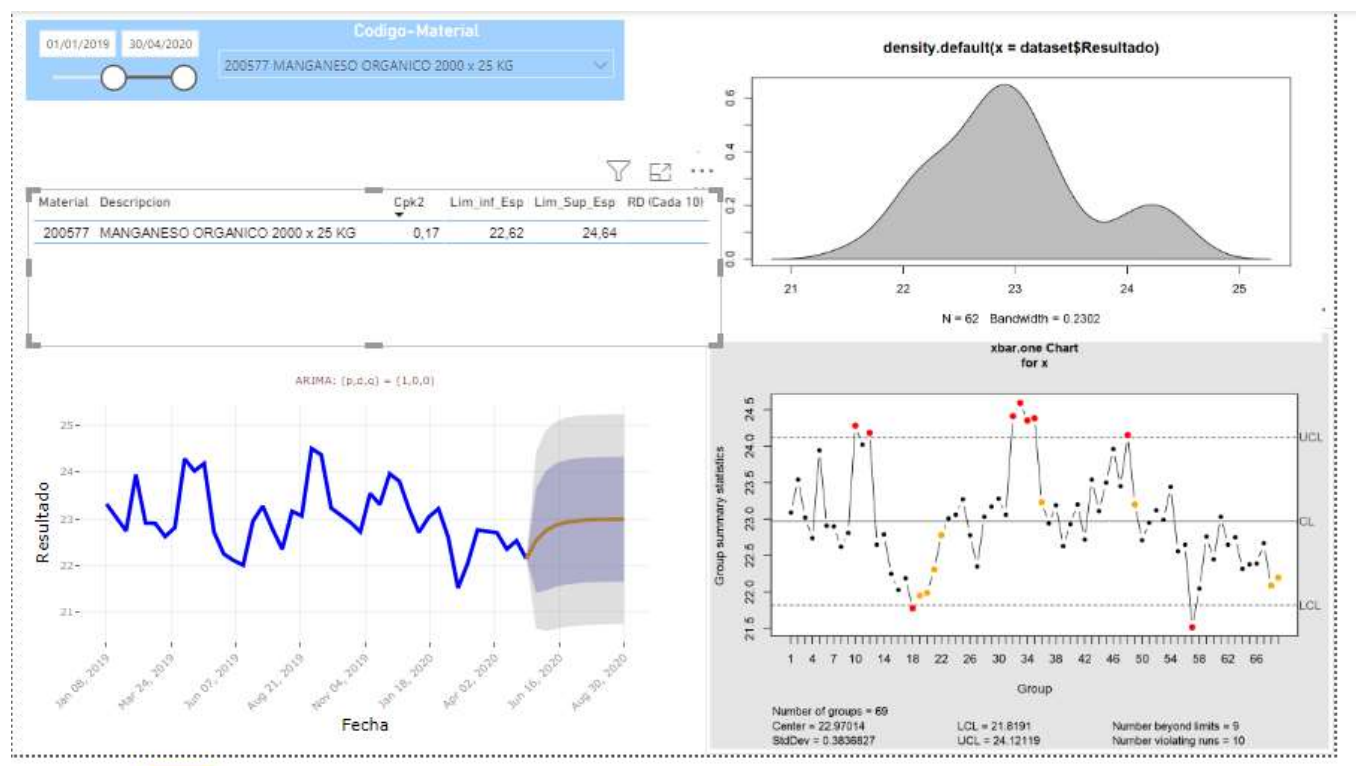


Figura 25. Gráficas Manganese orgánico 2.000, elaboración propia

### **Conclusiones.**

- Se solicita validación sobre los hallazgos encontrados al área de ATN.
- Se enviarán 4 lotes de MP a análisis de ppio activo, buscando validar conformidad

de resultados

- Se envían 2 lotes de Manganese orgánico 2.000 a analizar a otro laboratorio

diferente al habitual.

### **Acciones correctivas permanentes.**

Se realiza reunión conjunta ATN-I+D-Control de calidad, en la cual se define un nuevo rango para el producto manganese orgánico 2.000. El cual es posible realizar derivado de su inclusión final en lo Prokeles, el nuevo rango del producto queda definido en:

- LSC: 22,62
- LIC: 24,64.

Se define el análisis de los próximos 10 lotes del producto y conforme a la información entregada en este análisis se definir nueva RD para el Producto.

## **8.2 Caso Selenio Orgánico fuera de rango.**

Se identifica un producto saliendo por fuera del LSC. En el cual las gráficas entregadas por la herramienta indican un proceso inclinado hacia la derecha (LSC) el cual soporta el LIC pero tiene una capacidad máxima de réplica de 3,80% de selenio, cuando su rango máximo es 3,45%



Rangos estipulados del producto:

- LIC:3,00%
- LSC:3,45%

Capacidad del proceso:

- LIC: 3,02 %
- LSC:3,80%

Podemos identificar las gráficas claramente desviadas a la derecha (figura 26), indicando 3 modas, una de ellas gobernando los datos la cual indica un producto comúnmente fuera de rango

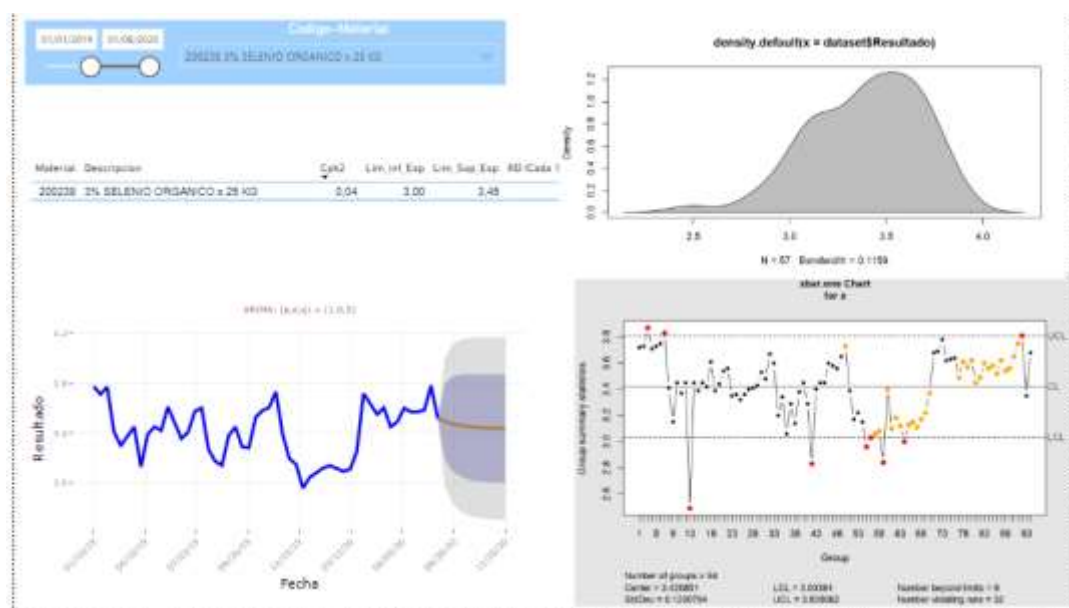


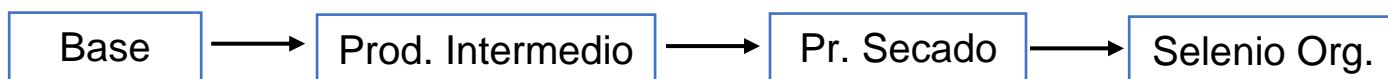
Figura 26. Gráficas Selenio Orgánico 2.000, elaboración propia

Mediante metodología de investigación 8D se logra determinar que la formulación del producto tiene una descompensación que tira el producto al rango superior desde su concepción, se generan cálculos según contenido de la base del orgánico, la cual arroja los siguientes datos:

La base del orgánico tiene un rango estipulado:

- LIC: 45,0%
- LSC: 49,0%

Debemos tener en cuenta, que para la fabricación del orgánico se genera un producto intermedio, la secuencia es la siguiente:



Basados en esto generamos cálculos con los límites inferior y superior:

En este primer cálculo partimos de la base de tener un producto con la base en el LIC, lo que genera un producto intermedio con un 5% de contenido de Orgánico (tabla 15). Que al pasar por el proceso de secado genera un orgánico con un contenido del 3,41% ya rozando el límite superior, muy alejado el límite inferior.

Tabla 15.

*Calculo de un producto base LIC que genera un producto con 5% de contenido orgánico*

PREM B		Organico	
Resultado Base	45	Prem B	5
Total Organico Formula	111,3	Total Prem B	362
Organico Contenido	5008,5	Organico Contenido	1810
Dividido 100	50,085	Dividido 100	18,1
Agua	797,6	vehic. Org	77,52
Ácidos	91,1	Vehiculo	435
Total Formula	1000	Total Formula	530,62
Cont. Total	5,0085	Cont. Total	3,411103992

*Nota.* Elaboración propia

En este segundo calculo partimos de la base de tener un producto con la base en el LSC, lo que genera un producto intermedio con un 5,34% de contenido de Orgánico (tabla 16). Que al pasar por el proceso de secado genera un orgánico con un contenido del 3,72% ya en este momento se esta sobrepasando el LSC propuesto para el mineral orgánico.

Tabla 16.

*Calculo de un producto base LSC que genera un producto con 5,34% de contenido orgánico*

PREM B		Organico	
Resultado base	48	Prem B	5,34
Total, Organico Formula	111,3	Total, Prem B	362
Organico Contenido	5342,4	Organico Contenido	1933,08
Dividido 100	53,424	Dividido 100	19,3308
Agua	797,6	Vehiculo Org.	77,52
ácidos	91,1	Vehiculo	435
Total Formula	1000	Total Formula	531,8508
Cont. Total	5,3424	Cont. Total	3,634628358

*Nota.* Elaboración propia

Como se puede observar se tiene un error en la formula, lo que genera un producto fuera de rango, este no se determina como producto NC, pues es la MP de un producto el cual al momento de formulación genera un ajuste de potencia en la formulación para cumplir con los rangos estipulados.

Basados en esto generamos cálculos en la formulación del producto intermedio, generando de esta manera:

Cumplimiento de los rangos en el producto final Selenio orgánico 2.000

Un Ahorro x Kg de \$444. Que llevado a la tasa de fabricación del periodo de 1 año comprendido entre Julio 1 de 2019 y el 31 de Julio de 2020 generaría un ahorro aproximado de \$ 34.441.714. Por ajuste de materias primas, esto sin afectar la calidad del producto.

Adicional, al tener un producto con un cumplimiento de sus rangos y observando su comportamiento con la herramienta podríamos aplicar una RD la cual podría generar un ahorro de \$22.680.000

Calculo con la base llegando con un contenido en su LSC, tenemos un producto intermedio con un contenido de Organico del 5,10% que al pasar por el proceso de secado tiene un 3,47% Orgánico (tabla 17).

Tabla 17.

*Calculo de un producto base LSC con un producto intermedio con 5,10% y con el secado tiene 3,47% de contenido orgánico*

PREM B (Máximo Resultado)		Organico	
Resultado base	49	Prem B	5,10
Total Organico Formula	104	Total Prem B	362
Organico Contenido	5096	Organico Contenido	1844,567543
Dividido 100	50,96	Dividido 100	18,44567543
Agua	805	Vehiculo Org.	77,52
Acido	91,1	Vehiculo	435
Total Formula	1000,1	Total Formula	530,9656754
Cont. Total	5,10	Cont. Total	3,473986415

*Nota.* Elaboración propia

Calculo con la base llegando con un contenido en su LIC, tenemos un producto intermedio con un contenido de Organico del 4,68% que al pasar por el proceso de secado tiene un 3,19% Orgánico (tabla 18).

Tabla 18.

*Calculo de un producto base LIC con un producto intermedio con 4,68% y con el secado tiene 3,19% de contenido orgánico*

PREM B (Mínimo Resultado)		Organico	
Resultado base	45	Prem B	4,68
Total Organico			
Formula	104	Total Prem B	362
		Organico	
Organico Contenido	4680	Contenido	1693,990601
Dividido 100	46,8	Dividido 100	16,93990601
Agua	805	Vehiculo Org.	77,52
Acido	91,1	Vehiculo	435
Total Formula	1000,1	Total Formula	529,459906
Cont. Total	4,68	Cont. Total	3,199469085

*Nota.* Elaboración propia

Calculo con la base llegando con un contenido calculado su media según los resultados de los últimos 2 años (Esta base tiene un Cpk. superior a 2,0. Proceso Six Sigma), tenemos un producto intermedio con un contenido de Orgánico del 4,73% que al pasar por el proceso de secado tiene un 3,23% Orgánico (tabla 19).

Tabla 19.

*Calculo de un producto base Cpk. superior a 2,0 con un producto intermedio con 4,73% y con el secado tiene 3.23% de contenido orgánico*

PREM B (Mediana)		Organico	
Resultado base	45,45	Prem B	4,73
Total Organico Formula	104	Total Prem B	362
Organico Contenido	4726,8	Organico Contenido	1712,26
Dividido 100	47,268	Dividido 100	17,1226
Agua	805	Vehiculo Org.	77,52
Acido	91,1	Vehiculo	435
Total Formula	1000,1	Total Formula	529,6426
Cont. Total	4,73	Cont. Total	3,23285929

Con esta nueva formulación se han generado 4 lotes, los cuales indican estar en los rangos solicitados, se realizará en total 10 lotes, y se realizará análisis de la data para determinar acciones a seguir (figura 27). Los 4 corridos nos entregan la siguiente información:

Proceso con capacidad en los rangos solicitados, totalmente centrado respecto a las especificaciones y sus resultados.

Cpk. superior a 3, lo que indica un proceso Six Sigma.

No tenemos grafica de Arima, pues esta necesita >15 datos para calcular información.

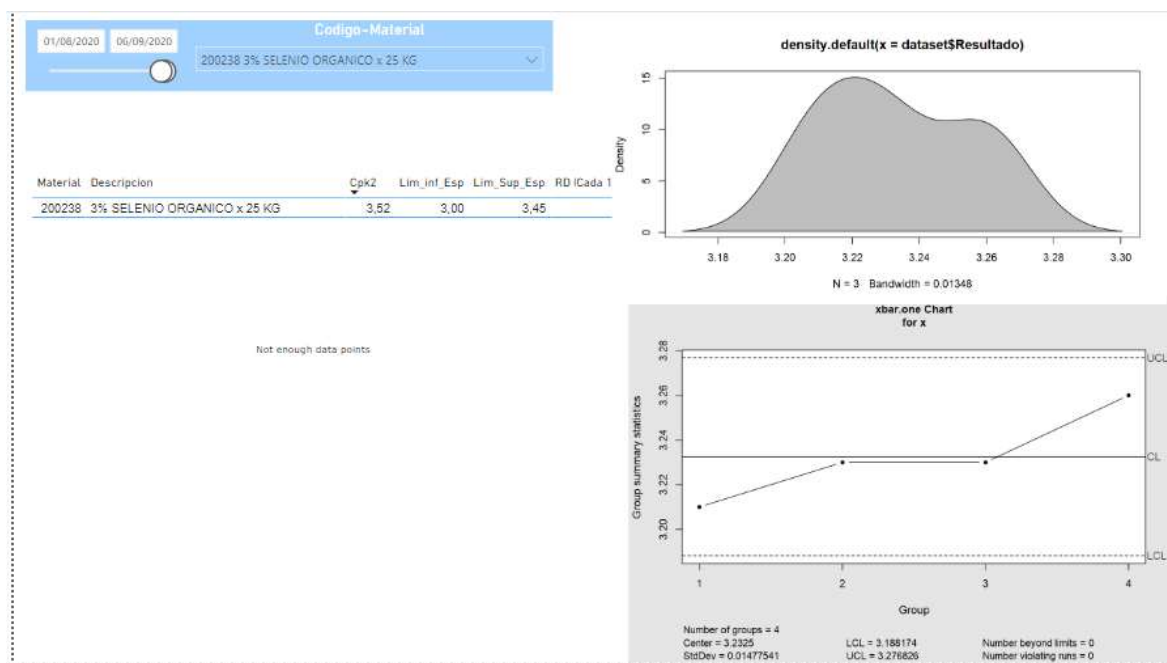


Figura 27. Gráficas del análisis de un producto base Cpk. superior a 2,0 con un producto intermedio con 4,73% y con el secado tiene 3.23% de contenido orgánico, elaboración propia

### 8.3 Caso 23% Prokel Zinc

Al validar la información generada por esta referencia en la herramienta se encuentra un total de lotes manufacturados de 53, los cuales están conformes en un 100% (53 lotes dentro del rango solicitado) pero al validar tiene un Cpk. negativo, esto debido a lo siguiente:

Producto con rango abierto, indica que debe tener un contenido mínimo del 23%.

El índice de capacidad del proceso indica una capacidad del replica > 27%.

Se esta fabricando con una media del 25,67% lo que es un 11% por encima de la especificación mínima.



En la figura 28 se observan las gráficas creadas por la herramienta, antes de generar los cambios propuestos:

- Cpk. negativo
- Límite superior en 25,39%
- Próximo resultado esperado según la gráfica de Arima de 25,90%

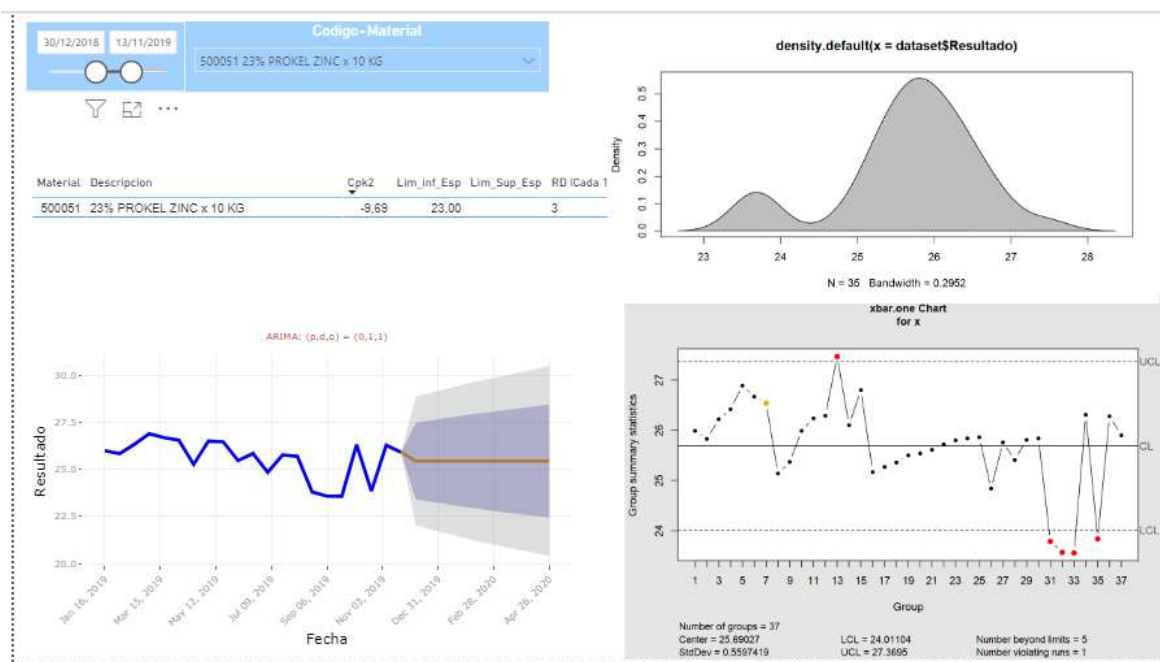


Figura 28. Gráficas creadas por la herramienta antes de generar los cambios propuestos, elaboración propia

Procedemos a realizar validación de la formulación (figura 29), generando lo que llamamos un ajuste de potencia, este se realizó con seguimiento a 10 lotes, los cuales generan la siguiente información.

Un Cpk de 0,60 el cual no es el mejor, pero indica un proceso con mejoría y que permite un límite aceptación aceptable, susceptible a mejoría.

Capacidad del proceso con un LIC por fuera del rango mínimo de 23,0% (Indica 22,7%) pero los 10 lotes analizados entraron en el rango mínimo solicitado (10 lotes conformes) y se presume que este LIC da tan bajo pues el ajuste de la formula se realizo hacia la cresta izquierda.

Esta nueva formulación proyecta un ahorro anual de \$26.600.600, basados en el ahorro de \$604.600 por bache fabricado.

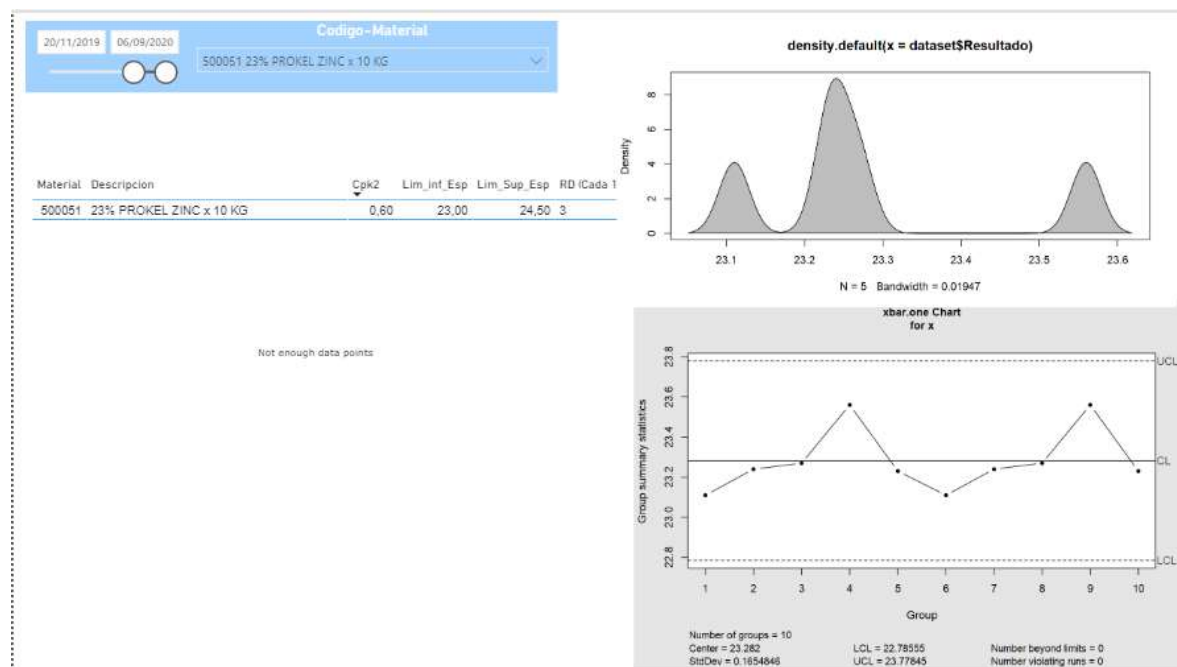


Figura 29. Gráficas creadas por la herramienta con los cambios propuestos, elaboración propia

## 9. Conclusiones y Recomendaciones

La calidad como objetivo principal no debe enfocarse solo en el cumplimiento de unos rangos estipulados, o en satisfacer unas especificaciones técnicas entregadas por los departamentos de diseño y desarrollo. Su enfoque debe ser más predictivo y apalancarse en las herramientas estadísticas para generar acciones de mejora que propendan por el desarrollo técnico y económico de la organización que representa.

La herramienta permitió generar una mejora en el flujo de la línea de minerales orgánicos, al tener sus referencias ligadas a datos de verificación y no de liberación, esto genera que por lo menos el 60% de las referencias procedan a liberación en tiempos inferiores a 24 Hr. Cuando anteriormente el 100% de las referencias estaba amarrados a tiempos de procesos superiores a 3 días por línea. Como se indicaba inicialmente se tenían hasta 16 días de proceso en la secuencia completa, pasando en la actualizada a menos de 3 días.

La dispersión en los datos genera incógnitas que deben ser estudiadas y administradas de manera que generan mejoras tangibles en procesos, procedimientos y costos. Estas deben ser investigadas mediante metodologías de investigación como las 8D, las 5W + 1H, espinas de pescado, diagramas de Pareto, u otras que ayuden a un análisis profundo de los datos vs el problema.

La herramienta propuesta nombrada como “Zero análisis” genera información de vital importancia para la gestión diaria de los productos de la línea de minerales orgánicos o de desempeño como se cataloga esta línea en la compañía. Pues muestra desviaciones, capacidad de cada una de las referencias, con los índices Cpk tenemos un foco sobre el cual debemos enfocar nuestros mayores esfuerzos, otras las cuales deben permanecer en observación y otras que requieren un seguimiento menos estético.

El ahorro para las compañías esta intrínseco en cada uno de sus procesos y en el día a día, las herramientas estadísticas se presentan como herramienta fundamental para poder generar estos ahorros enfocados y con sentido.

El área de control de calidad debe entender y mutar su gestión diaria en las tareas predictivas y de capacitación permanente al equipo de piso. Al ser un área que no genera valor debe agregar valor en:

Generar procesos de mejora con ahorros tangibles

Generar rutinas de trabajo diarias que se enfoquen en lo predictivo mas que en lo reactivo.

Gestionar la mejora continua de las diferentes áreas de influencia, enfocando estos esfuerzos en la capacitación al personal.

La transversalidad debe ser una palabra tatuada en el ADN del personal que ejecuta sus funciones diarias en área de calidad, abrazando los diferentes procesos en sus áreas de influencia, de manera que trabaje con ellos de la mano, generando estrategias que permitan que su gestión diaria se vea como de apoyo, y no como un área que obstruye el flujo.

## 10. Referencias

- Araque, C., Medina, R., Sánchez, A., Delgado, A., & Espinosa, V. (27 de 07 de 2010). *Agro Meat*. Obtenido de <https://www.agromeat.com/25707/importancia-de-los-minerales-quelutados-en-la-alimentacion#:~:text=La%20quelaci%C3%B3n%20es%20un%20proceso,pasar%20as%C3%AD%20al%20torrente%20sangu%C3%ADneo.>
- Benavente, R. P. (04 de 07 de 2016). *El Confidencial*. Obtenido de [https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2016-04-07/los-aditivos-quimicos-mas-habituales-en-los-alimentos-y-por-que-no-te-deben-preocupar\\_1179217/#:~:text=Los%20aditivos%20son%20sustancias%20que,les%20afectan%20las%20condiciones%20ambientales.](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2016-04-07/los-aditivos-quimicos-mas-habituales-en-los-alimentos-y-por-que-no-te-deben-preocupar_1179217/#:~:text=Los%20aditivos%20son%20sustancias%20que,les%20afectan%20las%20condiciones%20ambientales.)
- Claudia, M., Viviana, C., Vivian, M., & cecilia, R. (2005). Los Graficos de caja:Un recuerdo innovador. *Revista Iberoamericana de educacion*, 6.
- Conde, A. M. (03 de 2019). *Kailean Consultores*. Obtenido de <http://kailean.es/el-control-estadistico-de-procesos-spc/>
- Contexto Ganadero. (21 de 02 de 2019). *Contexto ganadero*. Obtenido de <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/que-se-refieren-cuando-hablan-de-los-minerales-organicos#:~:text=Los%20complejos%20minerales%20se%20utilizan,As%C3%AD%20se%20clasifican%20estos%20compuestos.>
- Garcia, A. M. (07 de 08 de 2020). *Monografias.com*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos27/datos-agrupados/datos-agrupados.shtml#biblio>

Infoagro. (23 de 06 de 2017). *Inforcarne*. Obtenido de

<https://www.infocarne.com/cerdo/minerales.asp>

Jimenes, H. F., & Amaya, C. L. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 264-265.

La metodologia de Taguchi en el control estadistico de la calidad. (2015). *Revista de la escuela de perfeccionamiento en investigacion operativa*, 65-83.

Lopez, B. S. (19 de 10 de 2019). <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-calidad/capacidad-de-procesos/>. Obtenido de Ingenieria Industrian:

<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-calidad/capacidad-de-procesos/>

Martines, M. G., & Benlloc, M. M. (2011). *Tablas y Representaciones Graficas Estadisticas*. Valencia: Universidad de Valencia.

Medrano, G. H. (11 de 04 de 2017). *Aprendiendo calidad y ADR*. Obtenido de

<https://aprendiendocalidadyadr.com/diagrama-de-pareto/>

Parra, J. M. (1995). *Estadistica descriptiva e inferencial I*. Mexico DF: UnadMexico.

PREMEXCORP. (04 de 08 de 2020). *PREMEX.CO*. Obtenido de

<https://www.premex.co/es/compania>

Ravindran, V. (2010). *Aditivos en Alimentacion Aninal: presnete y Futuro*. Madrd: Institute Of Food,Nutrition,And Human Health.

Ricardi, F. Q. (2011). *Medidas de tendencia central y disperscion*. Santiago: MedWave.

Rodriguez, G. A. (s.f.). *Estadística descriptiva en educación*. Obtenido de

<https://sites.google.com/site/estadisticadescriptivaenedu/home>

Rosemary Martins;Jeison Arenhrt. (12 de 06 de 2018). *Qualiex Blog de la calidad*. Obtenido de

<https://blogdelacalidad.com/diagrama-de-ishikawa/>

Suarez, M., & Tapia, F. (2012). *Interaprendizaje de estadística básica*. Ibarra: Universidad

Técnica del norte.

support.minitab.com. (2020). *Soporte de Minitab 19*. Obtenido de

<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/quality-tools/supporting-topics/pareto-chart-basics/>

Terrez, A. M. (2007). *Six Sigma: Determinación de metas analíticas*. Ciudad de México:

Medigraphic.